

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“TRATAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLA PARA CONTRIBUIR
CON LA ADAPTACIÓN BOVINA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN
COMUNIDADES ALTAS DEL VALLE DEL MANTARO”**

Presentada por:

ALEJANDRA ISABEL CUENCA ALPISTE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ZOOTECNISTA**

Lima – Perú

2016

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino
y ayudarme a conseguir mis
metas.

A mis padres Dianne Alpiste y César
Cuenca, por su cariño y apoyo
incondicional. A mi hermana Diana
Cuenca y mi sobrino Felipe, por
siempre creer en mí. A mi sobrinita
Valerya, por ser mi ángel que me
protege desde el cielo.

A mi esposo Wilman
Altamirano, por su inmenso
amor y por ayudarme a ser
mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTO

- A mi estimado Asesor de Tesis, el Mg.Sc. Jorge Vargas, por su guía, apoyo, motivación y enseñanzas para culminar la presente investigación.
- Al Ph.D. Carlos Gómez, por darme la oportunidad de participar del presente proyecto de investigación y por las recomendaciones brindadas para culminar este estudio.
- A los miembros de mi jurado de tesis, el Ph.D. Javier Ñaupari, el Ph.D. Enrique Flores y el Mg.Sc. Christian Barrantes, por sus acertadas sugerencias para mejorar este trabajo.
- Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica “CONCYTEC”, por el financiamiento brindado para la realización de la presente investigación.
- Al Ing. Jorge Gamarra, por su apoyo durante la realización de la parte experimental de la presente investigación.
- A los técnicos del Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos “LENA”, por el apoyo en la realización de los análisis químicos.
- A la Dra. Uta Dickhöfer, al Dr. Joaquín Castro y al Sr. Herrmann Baumgärtner, personal de University of Hohenheim, por la acogida y ayuda brindada durante mi estadía en Alemania.
- A mis profesores de la Facultad de Zootecnia, por su guía durante mis años de estudio.
- A mi tíos Rosa Cuenca y Jorge Cuenca, por todo el apoyo brindado durante mis años de estudio.
- A los señores Delfin Huarcaya y Mario Jaulis, personal de la Biblioteca Agrícola Nacional, por su amistad y apoyo brindado durante mis días en la biblioteca.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con la ejecución del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. VARIABILIDAD CLIMÁTICA DEL VALLE DEL MANTARO	4
2.1.1. Precipitación pluvial.....	4
2.1.2. Temperatura del aire.....	6
2.2. DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS DE COSECHA Y SU USO EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	8
2.2.1. Producción de cebada y avena en Junín	9
2.2.2. Uso de residuos de cosecha en la alimentación animal.....	12
2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA.....	13
2.3.1. Carbohidratos	14
2.3.2. Lignina.....	15
2.3.3. Proteínas	16
2.3.4. Minerales	17
2.4. TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS DE COSECHA PARA MEJORAR SU DIGESTIBILIDAD	19
2.4.1. Métodos físicos.....	20
a. Picado.....	20
b. Molienda y peletizado.....	22
c. Remojo.....	23
d. Exposición al vapor y presión.....	23
e. Irradiación.....	23
2.4.2. Métodos químicos	24
a. Tratamiento con hidróxido de sodio	25
b. Tratamiento con nitrógeno no proteico.....	26
c. Tratamiento con hidróxido de calcio	32
2.4.3. Métodos biológicos	34
2.5. DE LA EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE COSECHA.....	34
2.5.1. Sobre la digestibilidad <i>in vitro</i>	35
2.5.2. Sobre la producción de gas total	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39

3.1.	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.2.	DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.3.	TRATAMIENTO DE LAS PAJAS DE CEBADA Y AVENA	39
3.3.1.	Del pre-tratamiento físico.....	40
3.3.2.	Del tratamiento químico	40
3.3.3.	De las condiciones y el tiempo.....	41
3.4.	TOMA DE MUESTRAS	43
3.5.	EVALUACIÓN QUÍMICA DE LAS PAJAS TRATADAS.....	43
3.5.1.	Composición química.....	43
3.5.2.	Digestibilidad <i>in vitro</i>	43
3.5.3.	Producción de gas total.....	44
3.6.	DISEÑO ESTADÍSTICO	45
3.7.	CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ALIMENTARIO.....	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1.	DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS	47
4.2.	DE LA DIGESTIBILIDAD <i>IN VITRO</i> DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS	50
4.3.	DE LA PRODUCCIÓN DE GAS, ENERGÍA METABOLIZABLE Y DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS	53
4.4.	DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ALIMENTARIO	56
V.	CONCLUSIONES.....	60
VI.	RECOMENDACIONES	61
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VIII.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Superficie, producción, rendimiento y precio promedio mensual de cebada en la región de Junín en el año 2011.....	10
Cuadro 2.	Superficie cultivada de cebada y avena grano por tamaño de unidad agropecuaria en el distrito de Sincos.....	11
Cuadro 3.	Fracciones botánicas de algunos residuos de cosecha.....	14
Cuadro 4.	Composición de la pared celular de algunos residuos de cosecha (g/kg MS).....	16
Cuadro 5.	Contenido de proteína cruda en residuos de cosecha (g/kg MS).....	17
Cuadro 6.	Composición mineral en residuos de cosecha (g/kg MS).....	18
Cuadro 7.	Composición química de las pajas de cebada y avena.....	18
Cuadro 8.	Métodos físicos, químicos y biológicos para tratar residuos de cosecha.....	20
Cuadro 9.	Ejemplo del cálculo del peso total y los porcentajes acumulativos bajo cada criba.....	22
Cuadro 10.	Tiempo requerido para el tratamiento de acuerdo a la temperatura ambiental.....	31
Cuadro 11.	Esquema del diseño experimental.....	45
Cuadro 12.	Efecto de los tratamientos sobre la composición química (%) de las pajas de cebada y avena en base seca.....	48
Cuadro 13.	Pérdida de nitrógeno (%) en las pajas de cebada y avena tratadas...	49
Cuadro 14.	Efecto de los tratamientos sobre la digestibilidad <i>in vitro</i> (%) de las pajas de cebada y avena.....	51
Cuadro 15.	Efecto de los tratamientos sobre la producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica de las pajas de cebada y avena.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Régimen pluviométrico anual en la cuenca del río Mantaro.....	5
Figura 2	Valores medios ponderados de la precipitación total anual y estacional para la cuenca del río Mantaro.....	5
Figura 3.	Valores medios ponderados del ciclo anual y estacional de las temperaturas del aire máxima (arriba) y mínima (abajo), para el conjunto de la cuenca del río Mantaro.....	7
Figura 4.	Variación de la temperatura del aire máxima y mínima promedio (década 2001-2010) en la cuenca del río Mantaro.....	8
Figura 5.	Patrón de agitación para la separación de partículas por tamaño.....	21
Figura 6.	Secuencia a seguir en el tratamiento con úrea e hidróxido de calcio....	42
Figura 7.	Comparación entre el método <i>in vitro</i> y el estimado al evaluar la digestibilidad de la materia orgánica en la paja de cebada.....	55
Figura 8.	Comparación entre el método <i>in vitro</i> y el estimado al evaluar la digestibilidad de la materia orgánica en la paja de avena.....	55
Figura 9.	Perfil alimentario en época lluviosa (%).....	57
Figura 10.	Perfil alimentario en época seca (%).....	57
Figura 11.	Producción de leche promedio (lts) por vaca en cada comunidad.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Cambios relativos de la precipitación (%) en la cuenca del río Mantaro, para la década 2001-2010 respecto al periodo de referencia 1971-2000.....	75
Anexo 2.	Composición química (%) en base seca de las pajas de cebada y avena.....	76
Anexo 3.	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%) de las pajas de cebada y avena.....	77
Anexo 4.	Producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica en las pajas de cebada y avena.....	78
Anexo 5.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la materia seca (MS).....	79
Anexo 6.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la materia orgánica (MO).....	81
Anexo 7.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la ceniza (CZ).....	83
Anexo 8.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la proteína (PT).....	85
Anexo 9.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la fibra detergente neutro (FDN).....	87
Anexo 10.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS).....	89
Anexo 11.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO).....	91
Anexo 12.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad <i>in vitro</i> de la fibra detergente neutro (DIVFDN).....	93
Anexo 13.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la producción de gas (PG).....	95
Anexo 14.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la energía metabolizable (EM).....	97
Anexo 15.	Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad de la materia orgánica (DMO).....	99
Anexo 16.	Modelo de encuesta para caracterizar el perfil alimentario en las comunidades de estudio.....	101
Anexo 17.	Perfil alimentario del ganado lechero en las comunidades de Chalhuan y Sallahuachac.....	102
Anexo 18.	Metodología en el tratamiento de las pajas de cebada y avena en las comunidades en estudio.....	104
Anexo 19.	Método para medir producción de gas (Metodología de Menke).....	105
Anexo 20.	Metodología para medir producción de gas total (Metodología de Menke).....	112

RESUMEN

El presente estudio se realizó en las comunidades de Chalhuan y Sallahuachac - Junín; el cual tuvo como objetivos evaluar el efecto de la urea e hidróxido de calcio sobre la composición química, digestibilidad *in vitro* y producción de gas total en las pajas de cebada y avena como una forma de adaptación del ganado lechero al cambio climático, y caracterizar el perfil alimentario del sistema ganadero de las comunidades en estudio. Las pajas recibieron un pre-tratamiento físico (picado) y un tratamiento químico. Los tratamientos evaluados fueron: control, 5% de urea y 2% de urea + 3% de hidróxido de calcio, siendo las pajas tratadas almacenadas herméticamente en bolsas plásticas durante un mes. Se utilizó un diseño anidado de cuatro factores con dos repeticiones. Los resultados obtenidos fueron: el contenido de proteína se incrementó a 17.69% y 15.33% en los residuos de cebada y avena tratados con urea, respectivamente. La digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con urea y urea-hidróxido de calcio, pero sí con el control en ambos residuos, obteniéndose una DIVFDN de 49.08% y 45.01% para la paja de cebada y 47.94% y 48.36% para la paja de avena, respectivamente. La producción de gas se utilizó para estimar la energía metabolizable, encontrándose que los productos químicos incrementan este parámetro en ambos residuos, siendo significativo en la paja de cebada tratada con urea. En cuanto a la caracterización del perfil alimentario, se tiene que la alimentación en época seca se basa en pajas de cereales, heno de avena y pastos limitados, siendo el consumo promedio de pajas de 3.57 kg MS/animal/día y la producción de leche promedio de 4.05 lts/vaca/día; mientras que en época de lluvia es de 8.54 lts/vaca/día con una alimentación en base a pastos naturales y cultivados.

Palabras claves: pajas de cebada y avena, urea, hidróxido de calcio, digestibilidad *in vitro*, producción de gas total, caracterización.

ABSTRACT

This research was conducted in the communities of Chalhuanac and Sallahuachac - Junín; which aims to assess the effect of urea and calcium hydroxide on the chemical composition, *in vitro* digestibility and total gas production in the barley and oat straws as an adaptation of dairy cattle to climate change, and characterize the food profile of livestock system in study communities. Straws received a physical pretreatment (chopped) and a chemical treatment, which were: control, 5% urea and 2% urea + 3% calcium hydroxide, being treated straws stored sealed in plastic bags for a month. The experimental design was a nested design of four factors with two replications. The results obtained: the protein content increased to 17.69% and 15.33% in barley and oat straws treated with urea, respectively. The *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber (IVDADF) showed no statistically significant differences among treatments with urea and urea-calcium hydroxide, but arose differences with the control in both straws, obtaining an IVDADF of 49.08% and 45.01% for barley straw and 47.94% and 48.36% for oat straw, respectively. Gas production was used to estimate the metabolizable energy, showing that chemicals increase this parameter in both straws, being significant in barley straw treated with urea. As for the characterization of food profile, it was observed that feed during the dry season is based on straws, oat hay and limited pastures, being the average consumption of straws of 3.57 kg DM/animal/day and the average milk production 4.05 liters/cow/day; while in the rainy season it is 8.54 liters/cow/day with a diet based on natural and cultivated pastures.

Key words: barley and oat straws, urea, calcium hydroxide, *in vitro* digestibility, total gas production, characterization.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático engloba una serie de alteraciones como calentamiento terrestre, incremento del nivel del mar, cambios en el ecosistema, sequías, entre otros que se están produciendo en la actualidad en el planeta, provocados en mayor o menor medida por el ser humano, el cual aprovecha los recursos naturales que el medio le ofrece para llevar a cabo sus actividades diarias, las cuales están sobreexplotando estos recursos, no dejando tiempo suficiente para la regeneración de éstos (IPCC, 2007).

El calentamiento global es el resultado del incremento de las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) que retienen el calor y suben gradualmente la temperatura del planeta, lo cual ha dado origen a un desequilibrio conocido como cambio climático (MINAM, 2009). Estas temperaturas más elevadas y sequías extremas causan una disminución en la productividad agrícola de todo el mundo, lo cual podría conducir a carencia de alimentos con muchas implicaciones sociales. Según el Cuarto Informe del IPCC (2007) indica que las emisiones mundiales de GEI causadas por las actividades humanas han aumentado en 70.0 por ciento desde la era preindustrial. El Perú es responsable de apenas el 0.4 por ciento de GEI, sin embargo es el tercer país más vulnerable a los riesgos climáticos, por ello es de vital importancia promover el desarrollo sostenible considerando estrategias de adaptación al cambio climático (MINAM, 2009).

En el Perú, las características del clima han cambiado lenta pero sostenidamente durante los últimos años. En la sierra central, ha disminuido la intensidad de las precipitaciones y la frecuencia de lluvias moderadas e intensas, las temperaturas máximas y mínimas se han incrementado hasta en 0.2°C por decenio y hay una mayor recurrencia de los periodos secos respecto a los periodos húmedos, especialmente desde la década de los ochenta, acentuándose en los noventa y continuando en los años dos mil. Con estas condiciones, es comprensible que el Perú sea considerado un país altamente vulnerable al cambio climático (CEPAL, 2014).

El 73 por ciento de la población de vacunos en el Perú se localizan en la región sierra entre los 2200 y 4500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y están en manos de las comunidades campesinas, las cuales utilizan los pastizales como recurso básico para la alimentación de sus animales. Debido a la fragilidad de los ecosistemas que alberga esta zona y a los altos índices de pobreza que exhibe, ha sido considerada como una zona de alta vulnerabilidad a los impactos del cambio climático (CEPAL, 2014).

La mayor parte de las pérdidas en la producción se debe a los efectos indirectos del cambio climático, en gran medida a través de la reducción o la no disponibilidad de los recursos de agua y alimento. En este sentido, el cambio climático tiene el potencial de afectar la cantidad y calidad del forraje, la demanda de agua para el cultivo de plantas forrajeras, así como los patrones de vegetación de pastizales a gran escala, debido a las amplias fluctuaciones en la cantidad y distribución de las lluvias en varias regiones del mundo (Veerasingam *et al.*, 2016). Debido a la baja disponibilidad de pastos para la alimentación del ganado como resultado del cambio climático, se debe buscar alternativas de adaptación, pero la mejora de la producción no debe ser a expensas de recursos alimenticios que el hombre puede utilizar directamente y para el caso de la producción de las especies rumiantes, debe de valerse de las ventajas que ofrece su sistema digestivo de aprovechar recursos que ni el hombre ni las especies monogástricas pueden consumir y aprovechar directamente.

Los alimentos fibrosos y forrajes de baja calidad, incluido los residuos de cosecha, son colectados manualmente en un estado avanzado de vegetación durante la época seca. Éstos constituyen, sin ninguna duda, un componente basal y en algunos casos, el único alimento de la dieta de los rumiantes en países en desarrollo con clima templado (Wanapat *et al.*, 1996). La producción de residuos de cosecha en el Perú es relativamente grande, producto de los cultivos de cereales, principalmente; pero en general, el aprovechamiento de éstos no es el adecuado, siendo una buena parte de estos residuos quemados en chacra (Perú Opportunity Fund, 2011). Al ser utilizados como alimento, tampoco son una buena fuente alimenticia para los rumiantes, ya que son altos en fibra, bajos en proteína y de baja digestibilidad; sin embargo, a estos residuos se les puede mejorar su calidad nutritiva si es que se les aplica procesos apropiados.

El proceso o tratamiento de los residuos de cosecha se realiza por diversos métodos, todos ellos mejoran en alguna forma la calidad nutritiva, pero debe considerarse las ventajas o desventajas en su aplicación. El tratamiento químico de los residuos de cosecha mejoraría el valor nutritivo de estos residuos, con el fin de aumentar su digestibilidad y el consumo voluntario por parte del ganado, y es de fácil aplicación en el campo, más aún para las condiciones del poblador de la sierra principalmente a nivel de comunidad campesina y pequeño productor.

El objetivo general es adaptar una estrategia nutricional para el ganado lechero de comunidades alto andinas para enfrentar la temporada seca y permitir la adaptación del ganado vacuno al cambio climático. Como objetivos específicos de la presente investigación se tiene determinar el efecto de la úrea e hidróxido de calcio sobre la composición química, digestibilidad *in vitro* y producción de gas total de los residuos agrícolas tratados; además, estimar la energía metabolizable y digestibilidad de materia orgánica a partir de este último parámetro. Adicionalmente, se caracterizará el perfil alimentario del sistema ganadero de las comunidades alto andinas del valle del Mantaro.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.VARIABILIDAD CLIMÁTICA DEL VALLE DEL MANTARO

La cuenca del río Mantaro ubicada sobre los Andes, en la parte central del Perú, se caracteriza por un clima predominantemente semifrío y húmedo, de inviernos fríos y secos, y veranos lluviosos y moderadamente templados. Sin embargo, la compleja topografía de su territorio determina una amplia variedad de climas entre los sectores norte, centro y sur de la cuenca. A continuación se describe el régimen pluviométrico y las temperaturas máximas y mínimas en la cuenca del río del Mantaro, así como los cambios que se presentan en ambos parámetros en la década 2001-2010 respecto al periodo de referencia 1971-2000.

2.1.1. Precipitación pluvial

Según Avalos *et al.* (2011), las estaciones que se definen con claridad en esta cuenca son dos: el verano (periodo lluvioso) y el invierno (periodo seco o de estiaje), sin embargo, las primeras lluvias inician en primavera y son el indicador con el cual los agricultores definen la temporada de siembra en la región andina del Perú.

En la Figura 1, se aprecia el régimen pluviométrico anual medio en la cuenca del río del Mantaro. Considerando la información de las 81 estaciones meteorológicas, se sabe que los acumulados mensuales máximos ocurren entre enero (129.3 mm) y febrero (133.4 mm). A finales de marzo y sobre todo en abril, las precipitaciones disminuyen bruscamente (13.2 mm en junio, 9.1 mm en julio y 18.9 mm en agosto), lo cual es característico del período seco.

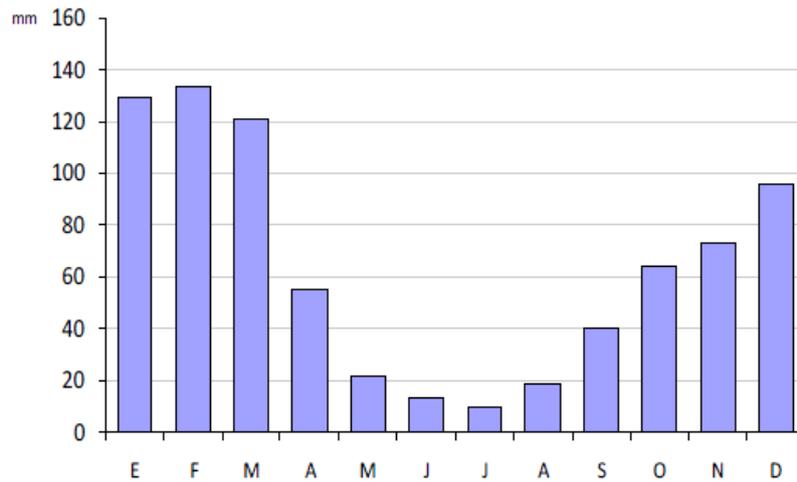


Figura 1: Régimen pluviométrico anual en la cuenca del río Mantaro.

Fuente: Avalos *et al.* (2011)

En la Figura 2, se puede observar los valores medios ponderados de la precipitación total anual y estacional para la cuenca del río Mantaro. El periodo de lluvias, como en toda la región andina del Perú, se inicia en setiembre (inicio de la primavera austral), acentuándose entre enero y febrero (verano), para luego disminuir entre abril y mayo (otoño). En invierno, las lluvias disminuyen notablemente, en particular durante los meses de junio y julio, cuando los porcentajes que se registran con respecto al total anual están en torno al cinco por ciento. (Avalos *et al.*, 2011)

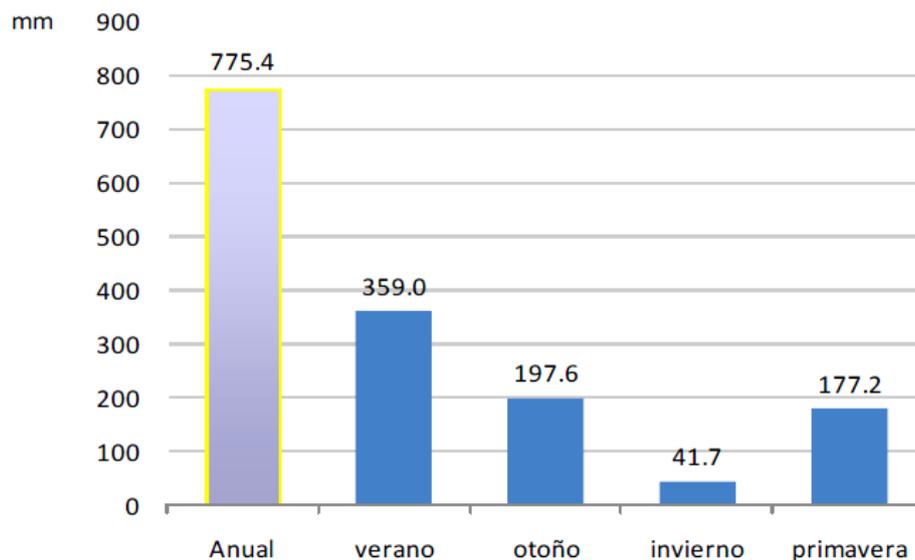


Figura 2: Valores medios ponderados de la precipitación total anual y estacional para la cuenca del río Mantaro.

Fuente: Avalos *et al.* (2011)

Sobre los cambios (anomalías) de la precipitación en la década 2001-2010 respecto al periodo de referencia 1971-2000 (Anexo 1), se puede observar que predomina un panorama general de reducción de lluvias, principalmente en el valle, siendo las reducciones anuales del orden -8 por ciento (Jauja), -9 por ciento (Ingenio) y -11 por ciento (Huayao); sin embargo, los cambios son más acentuados en Huancalpi (-15 por ciento), Marcapomacocha (-17 por ciento) y San Juan de Jarpa (-18 por ciento). Por el contrario, es el sector sur de la cuenca (Huancavelica, Viques, La Quinua, Chilicocha) la que presenta cambios positivos o incrementos de las precipitaciones del orden de +7 a +23 por ciento (Avalos *et al.*, 2011).

2.1.2. Temperatura del aire

Las formas del relieve que dominan la cuenca del río Mantaro condicionan el comportamiento de la temperatura del aire. La variedad altitudinal propicia la existencia de variados escenarios térmicos, de fuertes contrastes desde los frígidos climas de alta montaña hasta los abrigados valles interandinos. El conjunto de la cuenca presenta una temperatura media anual de 10°C, valor que se ve superado conforme la topografía se suaviza hacia las tierras más bajas correspondientes a la desembocadura del río Mantaro. De manera similar, la distribución espacial de las temperaturas extremas (máxima y mínima) exhibe una dependencia con el relieve de la cuenca. En promedio, la temperatura máxima anual en toda la cuenca es 17.7 °C y la temperatura mínima 3.6 °C, presentándose valores más elevados al sur de la cuenca, el sector central se caracteriza por ser más templado, como en el caso de Jauja cuya temperatura varía entre 19.2°C (T_{máx}) y 4.0°C (T_{mín}) y temperaturas extremas más bajas se presentan en el sector noroccidental (Avalos *et al.*, 2011).

Según Avalos *et al.* (2011), la temperatura del aire máxima presenta dos picos máximos durante el año, uno en mayo y el más intenso en noviembre, mientras los valores menores se dan en los meses de verano, debido a que la radiación solar incidente disminuye a casusa de la cobertura nubosa, por ser temporada de lluvias. La temperatura del aire mínima presenta valores más bajos durante los meses de invierno, asociado a los bajos valores de radiación solar incidente y al máximo enfriamiento de la superficie debido a la escasez de nubosidad nocturna y baja humedad durante este periodo (Figura 3).

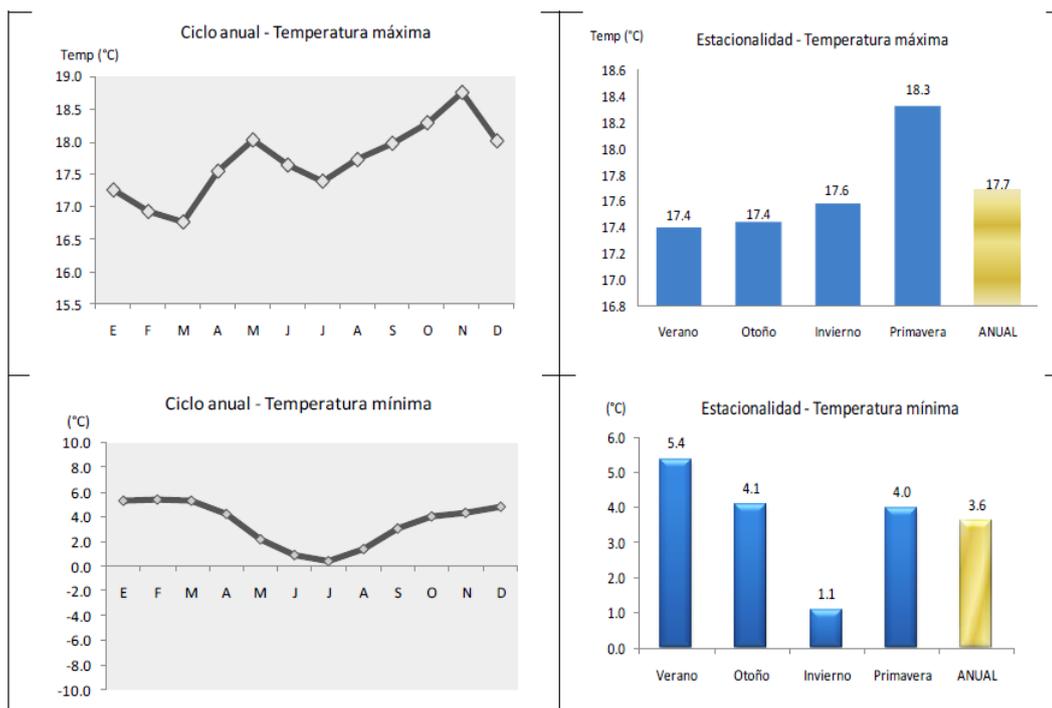


Figura 3: Valores medios ponderados del ciclo anual y estacional de las temperaturas del aire máxima (arriba) y mínima (abajo), para la cuenca del río Mantaro.

Fuente: Avalos *et al.* (2011)

A nivel global el aumento total de la temperatura de los últimos 100 años (1906-2005) es de 0.74 °C, mientras que en Centroamérica y Sudamérica se han observado aumentos en la temperatura del aire de aproximadamente +1.00 °C (IPCC, 2007).

La Figura 4 es una doble gráfica que refiere al comportamiento de las temperaturas del aire máxima y mínima en la cuenca del río Mantaro entre el periodo 1971-2000 (en negro) y el periodo 2001-2010 (en gris). Se observa que los incrementos de la temperatura durante la primera década del presente siglo se han dado principalmente durante el periodo lluvioso (enero-marzo), mientras que la temperatura mínima presenta incrementos entre setiembre y abril. En promedio, la cuenca experimentó un calentamiento medio de +0.2 °C/década en la temperatura máxima y +0.1°C/década en la mínima, siendo este incremento más acentuado en localidades como Acobamba (0.4-0.7°C/década), Pilchaca (0.2-0.4°C/década) y Huayao (0.1-0.3 °C/década); contrariamente, Jauja viene presentando disminuciones del orden de -0.3 °C/década (Avalos *et al.*, 2011).

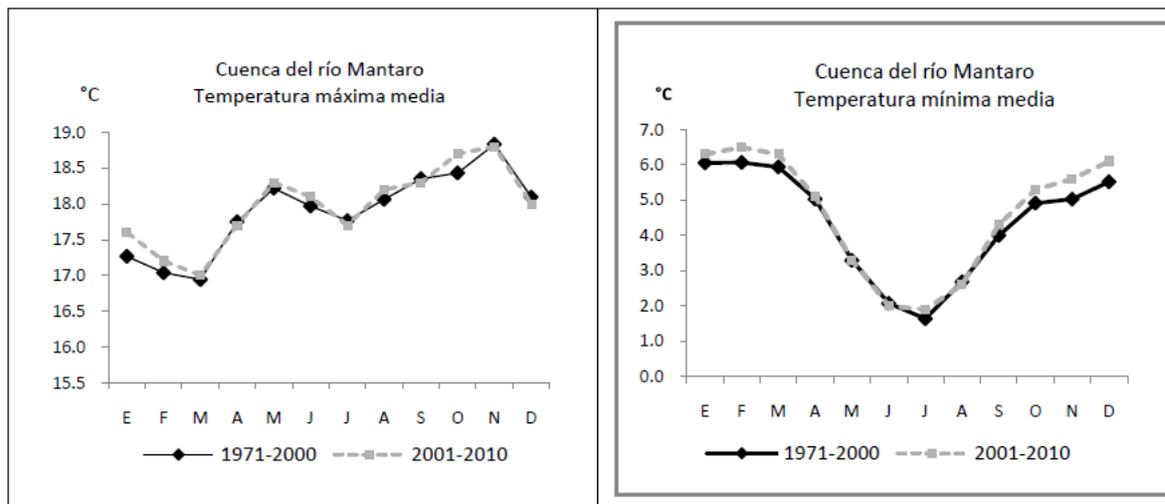


Figura 4: Variación de la temperatura del aire máxima y mínima promedio (década 2001-2010) en la cuenca del río Mantaro.

Fuente: Avalos *et al.* (2011)

2.2.DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS DE COSECHA Y SU USO EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Los residuos de cosecha derivan en su mayoría de cereales y son disponibles después de que las plantas han llegado a su madurez fisiológica, esto es luego de la cosecha del grano y cuando el contenido de proteína y energía digestible de los tallos y hojas son bajos. Además, estos residuos son las partes de la planta que quedan en el campo después de cosechar el cultivo principal (por ejemplo: panca de maíz, paja de cereales, bagazo de caña de azúcar, heno de maní) y pueden ser pastoreados, procesados como un alimento seco, o convertidos a ensilaje (Barrena *et al.*, 2010). Algunas características generales de la mayoría de residuos son las siguientes:

- Son un alimento barato y voluminoso.
- Son altos en fibra indigestible debido a su contenido alto de lignina, tratamientos químicos pueden mejorar su valor nutritivo.
- Bajos en proteína cruda.
- Requieren suplementación adecuada especialmente con proteína y minerales.
- Deben ser picados cuando son cosechados o antes de ser usados en la alimentación.

- Pueden ser incluidos en las raciones de rumiantes de bajo nivel de producción. (Barrena *et al.*, 2010)

Diversos cultivos generan importantes volúmenes de material vegetal, producto de cosecha en el campo o en lugares de procesamiento primario. Parte de estos residuos son utilizados como alimento para los rumiantes, siendo en otros casos desechado, a pesar que estos materiales pueden constituir importante fuente de alimento para el ganado (Klopfenstein, 1978). En Sudamérica, se produce 380 millones de toneladas métricas al año y en el Perú, casi 16 millones de toneladas métricas de residuos de cosecha por año, de los campos y fábricas de los procesos agroindustriales (Barrena *et al.*, 2010).

2.2.1. Producción de cebada y avena en Junín

La cebada (*Hordeum vulgare*) es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas (poáceas), además es una planta exótica originaria del oriente que se adapta fácilmente a la sierra (3000 a 3800 m.s.n.m.) debido a su rusticidad. La mayor parte de la cebada es producida en regiones con clima desfavorable para el cultivo de otros cereales. Sólo el trigo puede competir con ella en esta amplitud de adaptación, aunque en las áreas climáticas donde ambos cultivos prosperan, la cebada se adapta mejor a las condiciones marginales de clima y suelo (Rodríguez, 2001).

La paja de cebada es un residuo de cosecha que queda en parva o chacra (Vásquez, 1985). Los rendimientos de paja por hectárea son variados, influye en ellos la fertilización, calidad del suelo, variedad, etc.

Según Anaya (1984) la mayor parte del área dedicada al cultivo de trigo y cebada en el Perú se encuentra en la región de la Sierra (97.5 por ciento). Para el caso de la cebada, esta producción se concentra en los departamentos de la sierra como Puno, Huancavelica, Junín, Ayacucho y Cuzco, donde el cultivo de este cereal es mayormente al seco y de igual manera se realizan los otros cultivos. Durante este mismo tiempo existe escasez de los pastos naturales (MINAG, 1982 y 1983).

El Ministerio Nacional de Agricultura nos brinda información sobre la producción de cebada en la región de Junín en el año 2011, la cual se muestra en el Cuadro 1, en el cual podemos apreciar que la producción se concentra en los meses de mayo a setiembre.

Cuadro 1: Superficie, producción, rendimiento y precio promedio mensual de cebada en la región de Junín en el año 2011

Superficie cosechada mensual de cebada en la región de Junín (ha)												
Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
12866	-	-	-	-	705	5996	5446	651	68	-	-	-
Producción mensual de cebada en la región de Junín (TM)												
Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
26534	-	-	-	-	1565	13457	10301	1095	115	-	-	-
Rendimiento promedio mensual de cebada en la región de Junín (Kg/ha)												
Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2062	-	-	-	-	2220	2244	1892	1682	1697	-	-	-
Precio promedio en chacra mensual de cebada en la región de Junín (S/. por kg)												
Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
0.76	-	-	-	-	0.71	0.75	0.76	0.85	0.97	-	-	-

Fuente: MINAG (2011)

La avena (*Avena sativa*) es una planta exótica anual, cuyo origen es incierto (Asia menor o sur este de Europa) que fue introducida al Perú por los españoles, adaptándose muy fácilmente en la sierra desde 3000 a 4000 m.s.n.m. debido a su rusticidad. La avena es una planta monocotiledónea que prospera bien en climas templados-fríos, relativamente húmedos, tiene raíces voluminosas y produce de 7 a 20 tallos alcanzando una altura de 1.2 a 2.0 m. La cosecha de avena es recomendable cuando la planta se encuentra en evento fenológico “grano de leche”, en ese momento tiene 10.5 por ciento de proteína (Noli, 1996).

La superficie cultivada de cebada y avena grano en hectáreas por tamaño de unidad agropecuaria en el distrito de Sincos de la provincia de Jauja del departamento de Junín, lugar donde se llevará a cabo el presente estudio, se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Superficie cultivada de cebada y avena grano por tamaño de unidad agropecuaria en el distrito de Sincos

GRUPO, CULTIVO Y TIPO DE AGRICULTURA	TOTAL	TAMAÑO DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS CON TIERRAS (HAS.)							
		MENOR DE 0.5	DE 0.5 A 0.9	DE 1.0 A 2.9	DE 3.0 A 4.9	DE 5.0 A 9.9	DE 10.0 A 19.9	DE 20.0 A 49.9	DE 500.0 A 1499.9
Distrito SINCOS									
Número de unidades agropecuarias	970	237	215	342	76	65	26	4	5
Superficie cultivada	1204.94	43.87	122	420.18	189.98	186.69	158.7	70.35	13.17
CEREALES									
Número de unidades agropecuarias	730	166	162	289	54	37	15	3	4
Superficie cultivada	549.77	20.56	52.46	176.8	85.12	89.88	86.43	32.5	6.02
En riego									
Número de unidades agropecuarias	39	6	9	10	5	5	4		
Superficie cultivada	16.75	0.78	1.69	2.79	1.49	3.95	6.05		
En seco									
Número de unidades agropecuarias	710	161	157	284	53	34	14	3	4
Superficie cultivada	533.03	19.78	50.77	174.02	83.63	85.93	80.38	32.5	6.02
AVENA GRANO									
Número de unidades agropecuarias	178	9	40	109	12	3	1	1	3
Superficie cultivada	69.34	0.85	8.25	36.69	9.3	5	1	2.5	5.75
En riego									
Número de unidades agropecuarias	1			1					
Superficie cultivada	0.5			0.5					
En seco									
Número de unidades agropecuarias	177	9	40	108	12	3	1	1	3
Superficie cultivada	68.84	0.85	8.25	36.19	9.3	5	1	2.5	5.75
CEBADA GRANO									
Número de unidades agropecuarias	535	84	126	226	48	33	14	3	1
Superficie cultivada	294.4	8.84	29.41	96.65	46.3	59.65	31.28	22	0.27
En riego									
Número de unidades agropecuarias	8		1	3	1	2	1		
Superficie cultivada	3.54		0.23	1.06	0.25	1.75	0.25		
En seco									
Número de unidades agropecuarias	527	84	125	223	47	31	13	3	1
Superficie cultivada	290.86	8.84	29.18	95.59	46.05	57.9	31.03	22	0.27

Fuente: INEI (2012)

Anaya (1984) se refiere al índice de cosecha el cual nos indica la relación que existe entre el producto económico y el producto biológico expresado en porcentaje, un índice de cosecha alto está indicándonos una alta rentabilidad del cultivo.

$$IC = \frac{\text{Peso de Granos (kg)}}{\text{Peso de pajas (kg)} + \text{Peso de granos (kg)}}$$

La producción de paja puede estimarse con el índice de cosecha y la producción del cereal, pero índices de cosecha que varían entre 0.01 (Anaya, 1984) y 0.45 (Vásquez, 1985) no son muy confiables por esta alta variabilidad.

2.2.2. Uso de residuos de cosecha en la alimentación animal

El ganado vacuno es una de las especies más eficaces, por el hecho de ser capaces de transformar los residuos de cosechas, pastos, forrajes u otros subproductos de la finca en alimentos para los humanos y materia prima para la industria. La alimentación es uno de los aspectos que impide el desarrollo de las fincas ganaderas en las zonas secas, es por ello que para la época crítica y/o de escasez de alimento es importante conocer los recursos con los que se dispone y su valor nutritivo (Sosa *et al.*, 2005).

Las pajas de cereales (avena, trigo, cebada) tienen un bajo valor nutritivo y su inclusión debe corresponder a un análisis estratégico del manejo de la alimentación. En general, estudios realizados en el INIA Carillanca (Catrileo, 2015) indican que la paja de cebada es mejor que la de avena, y que la paja de avena es mejor aceptada por el ganado que la paja de trigo. Dado su alto contenido de fibra, los mejores resultados se encontrarán cuando la paja acompañe a otros alimentos de mejor calidad en la ración, siendo un 30 por ciento un nivel apropiado de inclusión. Vacas adultas con insuficiente acceso a forrajes pueden consumir hasta 4 kg de paja de avena al día como suplemento y mantener su condición corporal y peso post destete hasta el parto. El monitoreo de la condición corporal a lo largo de la época de restricción alimenticia, deberá considerar si es necesario reemplazar parte de la paja suministrada por heno, y mantener una proporción de 50/50 por ciento paja/heno es recomendable en esos casos.

El uso de la paja, en especial de cebada y/o avena, en la ración de novillos o vacas, permitirá dar uso a un alimento que por su contenido de fibra no es utilizado por otras especies animales. Su inclusión contribuye a utilizar un material vegetal del cual existe una gran disponibilidad en la época seca cuando se presenta escasez de forraje. Además, su utilización como alimento para rumiantes ayuda a bajar los costos de producción, y evitar su quema, contribuyendo de esta forma a disminuir los efectos dañinos sobre el medio ambiente (Catrileo, 2015).

Si se desea conocer el modo de uso de los residuos de cosecha en la alimentación del ganado, se recomienda realizar un perfil alimentario, el cual describe la composición de la dieta y la proporción de cada uno de sus componentes para cada periodo (época seca y lluviosa).

2.3.COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA

A medida que maduran los cereales y otras plantas, una gran parte de los principios nutritivos de mayor valor emigran de las hojas y los tallos y se acumula como reserva en las semillas. En consecuencia, la paja está formada por los tallos y hojas sin las semillas de los cereales menores (Morrison, 1980), por lo que son pobres en proteínas, almidón y grasas, mientras que su contenido en fibra y lignina es elevado (Horton, 1978; Morrison, 1980) y contienen un reducido nivel de energía utilizable (Horton, 1978).

Las fracciones botánicas de los residuos de cosecha son: nudos, entrenudos y hojas, las cuales se observan en el Cuadro 3, donde se puede apreciar que la variación en las fracciones botánicas no solo ocurre entre diferentes residuos de cosecha, sino también entre diferentes especies dentro del mismo residuo, como es el caso del trigo. La proporción relativa de estas fracciones varía con la especie, madurez a la cosecha, suelo, condiciones climáticas, etc. (Antongiovanni y Sargentini, 1991).

Cuadro 3: Fracciones botánicas de algunos residuos de cosecha

Residuo	Entrenudo %	Nudo %	Hoja%
Cebada	58	7	35
Avena	53	4	43
Centeno	72	5	21
Trigo (6 variedades)	54-73	4-8	20-41

Fuente: Theander y Aman (1984).

Los residuos de cosecha están formados casi en su totalidad de pared celular, la cual se constituyen de carbohidratos estructurales altamente lignificados y pequeñas cantidades de proteínas estructurales y minerales (Antongiovanni y Sargentini, 1991).

2.3.1. Carbohidratos

Según Antongiovanni y Sargentini (1991), las paredes celulares de los residuos de cosecha están formadas de tres tipos de carbohidratos estructurales: celulosa, hemicelulosa y polisacáridos pécticos. Otros componentes son residuos de glucanos, fructanos y mananos.

La máxima tasa de digestión ruminal de los componentes de la pared celular por los rumiantes está relacionada a las características intrínsecas del complejo celulosa hemicelulosa (Engelhardt *et al.*, 1985). Pigden y Bender (1978) indican que el contenido conjunto de celulosa y hemicelulosa de las gramíneas, la paja, las maderas duras y el bagazo oscila entre 60 y 75 por ciento y el contenido de lignina entre 5 y 25 por ciento; mientras que Viestrus *et al.* (1981) indican que los residuos de cosecha están compuestos de 40-50 por ciento de celulosa y 10-20 por ciento de lignina.

Entre los factores que limitan la disponibilidad de hemicelulosa se menciona el contenido de lignina, el tamaño de partícula del material fibroso y los niveles de nitrógeno y minerales disponibles (Pigden y Bender, 1978). En este sentido, la lignina representa el principal limitante en la ingesta y digestión del forraje aún en situaciones en que los niveles de proteína, minerales y vitaminas son adecuados (Devendra, 1987).

Así mismo, entre los factores que afectan la digestibilidad de estos componentes de pared celular se menciona el estado de madurez del cultivo, la composición botánica, el contenido de materia seca, suplementos de la dieta, procesamiento y tratamientos químicos del forraje (Devendra, 1987). La capacidad de los rumiantes para utilizar adecuadamente estos forrajes de baja calidad se encuentra asociada al tamaño de la cavidad ruminal y a la tasa de pasaje del material digerido. Al respecto, los rumiantes que pastorean y los consumidores de materiales rugosos son más eficientes en la utilización de dietas fibrosas de baja calidad en comparación con los rumiantes consumidores de granos (Engelhardt *et al.*, 1985).

2.3.2. Lignina

Según Cram y Hamond (1963), la lignina es un polímero no carbohidratado que se modifica químicamente durante el proceso de solubilización con álcalis debido a su estructura simple y repetida. Church (1974), cita a Kamstra *et al.* (1958), quienes mencionan que la lignina está asociada físicamente con los carbohidratos fibrosos de la pared celular (celulosa y hemicelulosa) y como tal, interponen una barrera física que impide la acción de los microorganismos o de sus enzimas hidrolíticas sobre las moléculas de los hidratos de carbono.

Según Bergner y Gorsh (1974), la intensa incrustación de lignina con los polisacáridos aprovechables (celulosa, hemicelulosa y pentosas) motiva la escasa digestibilidad de la materia orgánica. En el mejoramiento de la digestibilidad de la materia orgánica de los residuos de cosecha se debe buscar romper la unión existente en la incrustación de la lignina con los polisacáridos disponibles para que los fermentos de las bacterias del rumen sean capaces de atacar a la celulosa y pentosanas.

La digestión máxima de lignocelulosa es particular a cada especie vegetal, y debido a la lenta tasa en que es utilizada por los microorganismos ruminales, el aporte de energía disponible al animal a partir de la misma es bajo (Pigden y Bender, 1978). En los forrajes altamente fibrosos el contenido del complejo celulosa hemicelulosa representa entre el 60 y 75 por ciento del tejido vegetal y el contenido de lignina, entre el 5 y 25 por ciento (Pigden y Bender, 1978).

La lignocelulosa presenta tres fracciones con características nutricionales particulares: la lignina, que es no disponible para la microflora ruminal; la fracción de energía digestible, altamente disponible por los microorganismos ruminales; y la fracción de energía potencialmente digestible, altamente resistente a la fermentación ruminal y disponible a los microorganismos ruminales luego de tratamientos específicos (Pigden y Bender, 1978).

En el Cuadro 4 se presenta la composición de la pared celular de algunos residuos de cosecha, cuyo contenido medio de pared celular es aproximadamente 80 por ciento y el contenido de celulosa es mayor en la paja de cebada y menor en la paja de sorgo.

Cuadro 4: Composición de la pared celular de algunos residuos de cosecha (g/kg MS)

Residuo	Pared celular	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Cebada	810	440	270	70
Avena	730	410	160	110
Arroz	790	330	260	70
Trigo	800	390	360	100
Sorgo	740	300	310	110

Fuente: Theander y Aman (1984)

2.3.3. Proteínas

La calidad de un forraje está en relación directa con el contenido de nitrógeno en forma de proteína. Van Soest (1966) observó que una pequeña cantidad de nitrógeno del forraje se encuentra combinado con la porción de lignina que es inaprovechable. Este nitrógeno aparece como constituyente de las paredes celulares y no es extraído dentro del contenido celular.

Según Antongiovanni y Sargentini (1991), la mayor cantidad de las proteínas están asociadas con los otros constituyentes de la pared celular (lignina, carbohidratos estructurales, sílice), por ello el resultado es una pobre degradabilidad y digestibilidad del residuo. Variaciones en el contenido proteico del residuo son debido a las condiciones del suelo, fertilización, tiempo de cosecha, condiciones climáticas durante el crecimiento del

cultivo, etc. En el Cuadro 5 se muestra los bajos valores de proteína cruda de diferentes residuos de cosecha, cuyo valor va de 24 hasta 54 g/kg MS.

Cuadro 5: Contenido de proteína cruda en residuos de cosecha (g/kg MS)

Residuo	Suecia (1)	USA y Canadá (1)	Reino Unido (1)	Francia (2)	Italia (3)
Cebada	54	41	38	38	32
Avena	45	44	34	32	29
Arroz	-	42	40	-	37
Centeno	32	32	36	-	-
Trigo	39-52	36	24-34	35	35-48

Fuente: (1) Theander y Aman, 1984

(2) INRA, 1978

(3) Piccioni, 1989

2.3.4. Minerales

Los minerales, cuya variabilidad se debe en gran medida a las diferencias en las condiciones del suelo, representan otra barrera para la acción de los microorganismos del rumen a los carbohidratos estructurales. Uno de los componentes minerales de mayor importancia en los residuos es la sílice, particularmente en el arroz y en la fracción de las hojas (Antongiovanni y Sargentini, 1991).

El contenido mineral de las pajas es variable (Little, 1984; Morrison, 1980; Jackson, 1977), éstas son pobres en calcio, fósforo y azufre (Dixon, 1985), sodio y cobre (Little, 1984) y en la mayor parte de las vitaminas, especialmente en vitamina A; por el contrario, presentan adecuados niveles de vitamina D (Morrison, 1980).

En el Cuadro 6 se presenta la composición mineral de diversos residuos de cosecha, destacando la elevada concentración de sílice en la paja de arroz, el cual se correlaciona inversamente con la degradabilidad de los polisacáridos en el rumen.

Cuadro 6: Composición mineral en residuos de cosecha (g/kg MS)

Mineral	Cebada	Avena	Arroz	Centeno	Trigo (primavera)	Trigo (invierno)
Ceniza	60	59	189	39	61	50
Sílice	15	11	130	34	31	32
Ca	2.9	3.9	2.4	2.8	3.2	2.1
P	0.8	0.9	0.9	1.0	0.8	0.8
Mg	1.0	1.5	1.2	0.9	0.9	1.1
K	14.0	21.9	13.2	9.8	11.8	10.0
Na	-	-	-	0.5	0.5	0.5
Cl	7.7	8.1	-	2.5	6.1	3.5
S	1.4	2.5	1.3	1.2	1.4	1.6

Fuente: Theander y Aman, 1984.

En el Cuadro 7 se hace un resumen de la composición química de la paja de cebada y avena según diferentes autores:

Cuadro 7: Composición química de las pajas de cebada y avena

Composición química (%)	Paja de cebada			Paja de avena	
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
MS	91.21	84.5	88.4	93	95.4
MO	85.76	93.97	-	-	89.4
Cenizas	14.24	6.03	-	-	10.6
PT	3.9	3.8	5.5	7.0	3.05
EE	-	-	3.2	2.4	-
FC	-	-	38.2	28.4	-
EB (Kcal/g)	4.19	-	-	-	-
ENL (MJ/kg)	-	-	3.69	4.52	-
FDN	72.38	77.4	80.1	72.3	65.9
FDA	50.76	49.03	-	-	49.0
Celulosa	34.71	38.7	-	-	44.6
Hemicelulosa	21.62	28.37	-	-	16.9
Lignina	10.52	9.63	-	-	6.5

Continuación

Permanganato					
Sílice	5.2	-	-	-	1.13
Calcio	-	-	0.06	0.18	
Fósforo	-	-	0.07	0.01	
MS= materia seca; MO= materia orgánica; PT= proteína; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; EB= energía bruta; ENL= energía neta de lactación; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida					

Fuente: (a) Chávez (1981)

(b) Kalinowski (1974)

(c) y (d) Tingshuang *et al.* (2002)

(e) Kafilzadeh *et al.* (2012)

2.4. TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS DE COSECHA PARA MEJORAR SU DIGESTIBILIDAD

Los sistemas alimenticios basados en residuos de cosecha tienen limitaciones en su productividad y esto se debe a factores asociados a la digestibilidad, los cuales son (Preston y Leng, 1990):

- Tasa de degradación lenta y bajo potencial de digestión.
- La velocidad con la que las partículas de alimento son degradadas a un tamaño adecuado para fluir del rumen.
- El patrón de fermentación caracterizado por una baja concentración de ácido propiónico.
- Contenido considerablemente bajo de nitrógeno fermentable, así como, de proteína sobrepasante.

Según Jackson (1978) la finalidad de aplicar algún tratamiento a la paja es para mejorar la digestibilidad y/o el consumo voluntario, de esta manera se incrementa la ingestión de energía digestible a partir de la misma. Este mismo autor indica que hoy en día existen varios métodos para tratar las pajas que satisfacen dicho objetivo.

Según Coombe *et al.* (1979) el tratamiento ideal de forrajes groseros de baja calidad sería aquel que incremente la digestibilidad y la tasa de digestión de estos materiales

potencialmente digestibles en el rumen. Esto supone incrementar la tasa de recambio de materia seca en el rumen y por ende el consumo, pero no a expensas de la digestibilidad.

El incremento de la digestibilidad del forraje está relacionado a la eficacia del tratamiento, al nivel de alimentación y, al tipo y cantidad de suplementos de la ración. Según Jackson (1978), los tratamientos se clasifican en físicos, químicos y biológicos, los cuales se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Métodos físicos, químicos y biológicos para tratar residuos de cosecha

Métodos físicos	Métodos químicos	Métodos biológicos
<ul style="list-style-type: none"> • Picado • Molienda y peletizado • Remojo • Exposición al vapor y presión • Irradiación 	Tratamiento con: <ul style="list-style-type: none"> • Hidróxido de sodio • Nitrógeno no proteico • Hidróxido de calcio 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de hongos • Tratamiento con ligninasas

2.4.1. Métodos físicos

Dentro de los métodos físicos podemos clasificar: el picado, la molienda, remojo, exposición al vapor y presión, irradiación, etc.

a. Picado

Este proceso consiste en cortar la paja usando máquinas con cuchillas en secciones relativamente largas (de 1 a 10 cm), sin embargo esto no es realmente un tratamiento, es más una técnica para mejorar la presentación del forraje, lo que facilita su manipulación y gastos de envío por parte del animal (Chenost y Kayouli, 1997).

El separador de partículas Penn State, descrito por Heinrichs y Kononoff (2002), permite determinar el tamaño de picado óptimo, cuya metodología es la siguiente:

- Colocar las cuatro cajas separadoras de plástico una encima de la otra en el siguiente orden: la criba con los hoyos más grandes (criba superior) arriba, la de hoyos medianos (criba media) siguiente, luego la de hoyos más pequeños (criba inferior), y la bandeja sólida hasta abajo.
- Colocar aproximadamente 1.5 L de forraje o RTM en la criba superior.
- Sobre una superficie plana, agitar las cribas en una dirección 5 veces y luego girar la caja separadora un cuarto de vuelta. No debe haber movimiento vertical al agitar. Repetir este proceso 7 veces, para un total de 8 vueltas o 40 agitaciones, rotando el separador después de cada vuelta de 5 agitaciones (Figura 5).

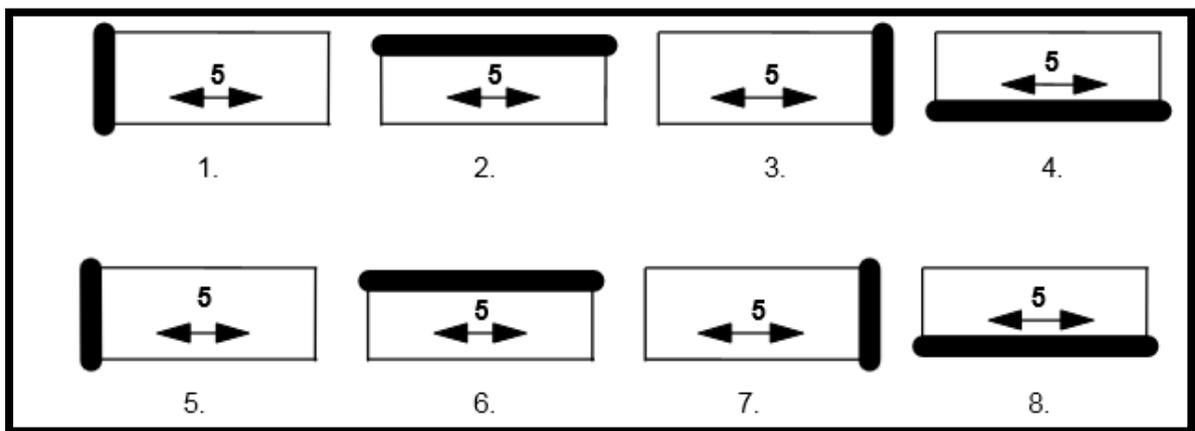


Figura 5: Patrón de agitación para la separación de partículas por tamaño.

Fuente: Heinrichs y Kononoff (2002)

- Después de terminar de agitar, pesar el material en cada criba y en la bandeja baja. El material remanente en la criba superior es más largo que 19 mm, el material en la criba media está entre 8 y 19 mm, el material en la tercera criba está entre 1.67 y 8 mm, y el material en la bandeja del fondo es de menos de 1.67 mm.
- Ingresar los datos obtenidos para calcular el porcentaje bajo cada criba (Cuadro 9).

Cuadro 9: Ejemplo del cálculo del peso total y los porcentajes acumulativos bajo cada criba.

Registrar y Calcular Datos			
Muestra	Peso Retenido	Proporción Restante en cada Criba	
Criba Superior (19 mm)	10 gramos [a]	$a/e*100$	$10/200*100 = 5\%$
Criba Media (8 mm)	80 gramos [b]	$b/e*100$	$80/200*100 = 40\%$
Criba Inferior (1.67 mm)	80 gramos [c]	$c/e*100$	$80/200*100 = 40\%$
Bandeja fondo (< 1.67 mm)	30 gramos [d]	$d/e*100$	$30/200*100 = 15\%$
Suma de Pesos	200 gramos [e]		
Computar Porcentaje Acumulativo de Menor Tamaño¹			
% Bajo criba superior	$f = 100 - (a/e*100)$	$100 - 5 = 95\%$ menor tamaño	
% Bajo criba media	$g = f - (b/e*100)$	$95 - 40 = 55\%$ menor tamaño	
% Bajo criba inferior	$h = g - (c/e*100)$	$55 - 40 = 15\%$ menor tamaño	
¹ Porcentaje acumulativo de menor tamaño se refiere a la proporción de partículas menores a un tamaño especificado. Por ejemplo, en promedio, 95% del alimento es menor a 19 m, 55% del alimento es menor a 8 mm y 15% del alimento es menor a 1.67 mm.			

Fuente: Heinrichs y Kononoff (2002)

b. Molienda y peletizado

La molienda aumenta el consumo voluntario de las pajas, lo que da por resultado un aumento de la ingesta de calorías digestibles hasta un 30 por ciento (Jackson, 1978). Según Pigden y Bender (1978) los factores limitativos del desdoblamiento de la celulosa son la lignificación, el tamaño de la partícula (volumen) y el contenido de nitrógeno y sustancias minerales. La molienda de un producto lignocelulósico reduce el tiempo y la energía necesaria para que las partículas atraviesen el rumen, aumenta el área superficial y con ello el índice de fermentación y a su vez aumenta la densidad del pienso y por consiguiente, aumenta la capacidad efectiva del animal (Pigden y Bender, 1978; Tingshuang *et al.*, 2002). Sin embargo, Bondi (1989) indica que la molienda está relacionada con la disminución de la digestibilidad de los forrajes altamente fibrosos debido a que producen un incremento de la tasa de pasaje a través del tracto digestivo.

Los residuos de cosecha luego de ser molidos, a menudo son peletizados antes de ser ofrecidos al animal. Los beneficios adicionales de la peletización incluyen un aumento

adicional de la densidad, disminución de la formación de polvo y un manejo más fácil. Sin embargo, la digestibilidad de la materia seca de la paja peletizada está deprimida con respecto a las formas picadas, debido a que la tasa de pasaje es más rápido, lo cual se ve compensado con el aumento de la ingesta del residuo de cosecha. Por lo tanto, el beneficio neto de la alimentación con residuos de cosecha es incrementar la ingesta de energía y el rendimiento de los animales, aunque la molienda fina reduce la grasa de la leche, debido a que se reduce drásticamente la rumia y tiempos de digestión ruminal, lo cual altera el patrón de fermentación ruminal, junto con la reducción de la relación acetato/propionato (Tingshuang *et al.*, 2002).

c. Remojo

Chaturvedi *et al.* (1973) citados por Ranjhan (1978) demostraron que con el remojo previo de paja de trigo durante 1-2 horas (1 litro de agua por kg de paja) aumenta considerablemente el consumo voluntario de la paja, la asimilabilidad de la energía digestible y de la energía metabolizable; también, la tasa de producción de ácidos grasos volátiles totales fueron superiores en paja remojada comparada con la no remojada.

d. Exposición al vapor y presión

La exposición periódica de la lignocelulosa a vapor y a condiciones de presión incrementa la digestibilidad *in vitro* de los forrajes de baja calidad. Mediante el proceso de hidrólisis ácida, el vapor a altas temperaturas libera el ácido acético del tejido fibroso, el cual produce hidrólisis de los enlaces entre los carbohidratos y la lignina (Pigden y Bender, 1978).

e. Irradiación

Huffman *et al.* (1971) describen el tratamiento por irradiación con electrones de alta energía. Estos autores reportan una disminución en el contenido de celulosa del material tratado en respuesta a altos niveles de irradiación (1×10^8 ó 2×10^8 rads.) formándose como productos de degradación de la celulosa, pentosas, ácidos carboxílicos y oligosacáridos; además, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se incrementa de 14.7 a 54.6 por ciento y la producción de ácidos grasos volátiles de 2 a 5

meq/g de sustrato. Este método no es muy utilizado por que requiere de mucha energía e infraestructura para su proceso.

2.4.2. Métodos químicos

Los tratamientos químicos de la paja para mejorar el valor alimenticio data desde el siglo XIX (Lehman, 1985; citado por Fahmy y Orskov, 1984). Estos comprenden, principalmente, la utilización de álcalis para incrementar la digestibilidad de los residuos de cosecha. Algunos de estos tratamientos pueden provocar pérdida de hemicelulosa, debido a la separación de sus componentes estructurales (Pigden y Bender, 1978).

Existen diversos métodos de tratar la paja con álcali (NaOH, NH₃ y Ca(OH)₂), éstos se clasifican en: métodos por remojo y métodos por rociado (Jackson, 1978). Cuando se emplea NaOH por remojo, se utiliza una solución al 1.5 por ciento de NaOH, remojando la paja 10 horas o más. El método Beckman, descrito por Jackson (1977) implica la maceración de la paja durante 24 horas en una solución que contiene NaOH al 8.0 por ciento y luego un lavado en una corriente de agua otras 24 horas. Para este método se requiere alrededor de 8 kg de NaOH por cada 100 kg de paja y el 20-25 por ciento de la materia orgánica original se lixivía.

Según Jackson (1978), en el método por rociado se incrementa la digestibilidad en un rango de 15 a 20 unidades porcentuales con gastos que van de 4-5 kg de NaOH/ 100 kg de paja. El suministro de paja tiene que limitarse a 4 ó 5 kg para evitar que los animales padezcan tensión producida por el exceso de sodio.

El modo de acción de los álcalis es a través de la ruptura de las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa, la hidrólisis de los ácidos urónicos y acéticos, aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa al sufrir ésta un aumento en sus dimensiones (Jackson, 1978) y exponer mayor superficie al ataque de los microorganismos del rumen (Klopfestein, 1980).

Al tratar la paja con sustancias químicas se produce una predigestión, por lo que se aprovecha de un modo más eficiente, ya que al hacerlo más disponible a los

microorganismos del rumen se mejora la producción animal con un costo menor de producción, ya que estos alimentos no son caros y las técnicas y materiales utilizados son sencillos. Además, otro aspecto importante en la producción animal es determinar el tamaño óptimo de la paja para que pueda ser aprovechado por los microorganismos del rumen después de haber sido sometido a tratamiento químico (Fuentes *et al.*, 2001).

a. Tratamiento con hidróxido de sodio

Coombe *et al.* (1979) al tratar la paja de cebada con 4 kg de NaOH/ 100 kg de paja encuentra incrementos en la digestibilidad *in vivo* de la materia seca y materia orgánica de 11 y 10 unidades porcentuales, respectivamente; así como el incremento del consumo de 2 a 3 kg/día con novillos Angus.

En el tratamiento con NaOH, según Coombe *et al.* (1979), el efecto del tratamiento alcalino sobre la composición de la paja reduce el contenido de fibra detergente neutro (FDN). Esta reducción presumiblemente está dada por la solubilización de la hemicelulosa, dado que la diferencia entre fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se ve reducida por el tratamiento alcalino. Al respecto, Klopfenstein (1978) indica que los tratamientos químicos solubilizan algo de la hemicelulosa, pero no cambia el contenido de celulosa y que el contenido de lignina no es reducido por el tratamiento químico. De esta manera, se alteran la estructura y enlaces entre carbohidratos y lignina o constituyentes de paredes celulares.

Van Soest (1982, 1985) indica que existe parcial translocación de arabinosilanos durante el proceso del tratamiento, lo que permite una mayor viabilidad para la digestión microbiana, haciendo variar el tiempo medio de degradación en la fermentación ruminal.

Pigden y Bender (1978) citan a Torkow y Feist (1969) e indican que la mejora de la digestibilidad se debe probablemente a la saponificación de esteres urónicos asociados con la cadena de xilano. Al aumentar la capacidad de hinchamiento de la lignocelulosa, los tratamientos con álcali favorecen la difusión y aumentan la accesibilidad de las enzimas.

Por último, Van Soest (1982) indica que la disminución de la celulosa cristalina por efecto de algunos tratamientos alcalinos, se debe a la despolimerización de la celulosa, el cual es

un método químico para remover la celulosa de la lignina y además, se indica que la presencia de ésteres, sea como grupos metilo o acetilo, hacen decrecer la característica hidrofílica de la molécula y por tanto la solubilidad. Sin embargo, los tratamientos ácidos o alcalinos remueven fácilmente estos grupos incrementando la solubilidad de las moléculas ácidas expuestas.

b. Tratamiento con nitrógeno no proteico

Por los posibles efectos del exceso del ión Na por el tratamiento con NaOH, una alternativa a este método es el tratamiento con amoníaco; la ventaja del amoníaco al tratar la paja es que es una buena fuente de nitrógeno no proteico (Fahmy y Orskov, 1984; Jackson, 1978) y que no quedan residuos de álcali. La amonificación de residuos fibrosos no es sólo para mejorar el contenido de nitrógeno no proteico (NNP) de los alimentos, sino lo más importante, es para mejorar la digestibilidad y palatabilidad del producto final (Pedrox, 1984). Tanto el amoníaco anhidro (NH_3 gaseoso) como las soluciones de amoníaco en agua (NH_4 acuoso) han demostrado un efecto positivo (Sundstol *et al.*, 1978).

Durante la amonificación el color de la paja varía de amarillo a parduzco, mientras que la estructura del material es ligeramente más blanda. El amoníaco tiene un efecto fungicida, incluso después que se ha abierto la pila se observa mayor capacidad de conservación de la paja de elevado contenido de humedad.

Con el tratamiento de amonificación los resultados obtenidos en la digestibilidad y palatabilidad son mejores (Jackson, 1978). Así, Mira y Kay (1983) indican que el marcado incremento en el consumo como resultado de la amonificación de la paja, es asociado con una mejora en la palatabilidad. Horton (1978) reporta incrementos de digestibilidad de hasta aproximadamente 41 por ciento cuando la paja de cebada es amonificada y se utiliza como ración única. El cambio en el peso vivo aumentó de -440 g/día a 324 g/día por el suministro de paja tratada con amoníaco, con respecto a la paja sin tratar.

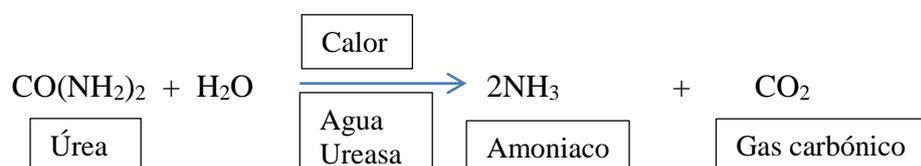
Jackson (1978) reportó incrementos en la digestibilidad de 12 unidades porcentuales en pajas tratadas con amoníaco. Williams *et al.* (1983) reportan que los coeficientes de degradabilidad de materia seca y fibra detergente ácida incrementan en 20 y 11 unidades

porcentuales y 26 y 20 unidades porcentuales para 40 y 72 horas de incubación, respectivamente. Fahmy y Orskov (1984) a su vez reportan un incremento de degradabilidad de 15 unidades porcentuales, de 45.9 a 60.3 por ciento para paja sin tratar y tratada respectivamente, y demuestran un efecto aditivo de amoniaco más NaOH, incrementando 21 unidades porcentuales para la tasa de degradabilidad. Lawlor y O'shea (1979) encontraron un incremento de energía metabolizable de 5.1 a 7.5 MJ/kg como resultado de este tratamiento con amoniaco.

En los sistemas de producción animal, el recurso de nitrógeno no proteico más difundido es la úrea. El tratamiento con úrea es una técnica que incrementa la calidad nutricional de los forrajes de baja calidad como son los residuos de cosecha (Dias-da-silva y Sundstøl, 1986; Jayasuriya y Perera, 1982; Chermiti *et al.*, 1994). En este proceso, el amoniaco es liberado a través de la degradación de la úrea hecha por los microorganismos, los cuales son habitantes normales de los forrajes de baja calidad que producen ureasa en presencia de humedad. Por ello, con la adecuada humedad y temperatura, la úrea es degradada a amoniaco, la cual penetra a través de la paja. El nitrógeno liberado a través de este proceso está ligado a la paja, por ello incrementa el contenido de nitrógeno total y la digestibilidad de la fibra de los forrajes de baja calidad también incrementa por acción del tratamiento (ESGPIP, 2007). Los residuos de cosecha tratados con úrea rompen los enlaces lábiles de la pared celular de la planta, solubilizando la celulosa al fraccionar los enlaces entre lignina, celulosa y hemicelulosa, por medio de la alteración de la capacidad higroscópica de la pared, lo que permite el ataque de las enzimas sobre la matriz estructural, aumentando su digestibilidad (Castrillo *et al.*, 1995).

Según Wanapat *et al.* (1996), el tratamiento con úrea es el resultado de dos procesos que ocurren simultáneamente dentro de la masa del residuo tratado: ureólisis, el cual convierte la úrea en amoniaco, y el efecto de este último en la pared celular del residuo.

En presencia de agua, de la enzima ureasa y una temperatura ambientalmente suficientemente caliente, la úrea se hidroliza a amoniaco gaseoso y gas carbónico a través de la siguiente reacción (Chenost y Kayouli, 1997):



Una vez que la hidrólisis es completada una molécula de úrea (60 g) genera dos moléculas de amoníaco (34 g), por lo tanto, 5 kg de úrea produce 2.83 kg de amoníaco (Chenost y kayouli, 1997). Parte de esta hidrólisis se produce a causa de las bacterias que se originan a partir de la contaminación de las pajas con el suelo (Williams *et al.*, 1984).

Joy *et al.* (1992) evaluaron el efecto de 3, 4, 5 y 6 por ciento de úrea con 30 por ciento de humedad en paja de trigo y obtuvieron un incremento de la digestibilidad de la materia orgánica en 7.3, 5.3, 7.4 y 9.0 puntos porcentuales. Cañeque *et al.* (1998) evaluaron diferentes niveles de humedad (20, 30 y 40 por ciento) y temperatura (25 y 35°C) en paja de cebada tratada con 6 por ciento de úrea y concluyeron que la máxima solubilización de la hemicelulosa ocurre cuando la temperatura inicial y contenido de humedad de la paja fueron 35°C y 40 por ciento, respectivamente, con lo cual disminuye el contenido de fibra detergente neutro e incrementa el nitrógeno retenido por el residuo.

Según Smith (2002), de los tres compuestos químicos (hidróxido de sodio, amoníaco y úrea) más probados para incrementar el valor nutricional de los residuos de cosecha, la úrea es el más calificado para ser utilizado por los pequeños productores, porque:

- Está disponible y es familiar para los ganaderos.
- Rompe los enlaces lignocelulosa del residuo, incrementa la tasa y el grado de digestión ruminal microbial.
- Incrementa el nivel de nitrógeno del residuo.
- Es relativamente seguro y fácil de usar.
- Es fácil de transportar, cuando se requiere en pequeñas cantidades.
- No hay razones sociales ni culturales que prohíben su uso.
- No ocasiona daños al medio ambiente.

Existen factores que influyen sobre el efecto de la amonificación, los cuales son la cantidad de amoníaco, la enzima ureasa, la temperatura, la duración del tratamiento, el contenido de humedad, la calidad inicial y tipo de material, y el cierre hermético del tratamiento, los cuales son descritos a continuación:

- Cantidad de amoníaco

Se ha demostrado que es muy poca la mejora de la digestibilidad como resultado de dosis de amoníaco por encima de 3-4 por ciento de la materia seca; experimentalmente se ha observado que la digestibilidad de la materia seca fue de 45.0, 53.0, 61.5, 63.5 y 61.0 por ciento para la paja de avena tratada con 0, 1, 2.5, 4 y 5.5 por ciento de amoníaco, respectivamente (Sundstol *et al.*, 1978).

Según Smith *et al.* (1988), la cantidad de úrea ha de adicionarse como porcentaje del peso del residuo varía entre 3 y 5 por ciento, ya que se ha demostrado que al tratar el rastrojo de maíz con 7 por ciento de úrea no se logra ningún beneficio comparado con un tratamiento de 5 por ciento; mientras que, tratar un residuo con sólo 2 por ciento de úrea resulta insuficiente para prevenir la formación de moho cuando se añade un 20 por ciento de agua. Esto coincide con lo descrito por Orskov (1993), quien recomienda alrededor de 5 por ciento de úrea para este tipo de tratamientos y Chenost y Kayouli (1997) quien determinó que las tasas de aplicación óptimas se encuentran entre 4 y 6 kg de úrea por cada 100 kg de paja, lo cual corresponde con el tratamiento de amoníaco de 2.4 a 3.4 kg NH₃ por cada 100 kg de paja.

- Enzima ureasa

La ureólisis es una reacción enzimática que ocurre en presencia de la enzima ureasa en el medio. Sin embargo, esta enzima es producida en cantidad suficiente por la bacteria ureolítica durante el tratamiento de los residuos de cosecha, bajo condiciones donde el contenido de humedad no sea una limitante. En caso el contenido de humedad sea menor al 30 por ciento, se recomienda adicionar la enzima ureasa, lo cual se logra adicionando semillas de soya a la solución de úrea (Wanapat *et al.*, 1996).

- Temperatura

El amoníaco es un producto químico de lenta reacción pero, como ocurre en otras reacciones químicas, el efecto de la amonificación se acelera aumentando la temperatura. Waagepetersen y Vestergaard (1977) citados por Sundstol *et al.* (1978) observaron que la temperatura ejercía un efecto positivo hasta los 45 grados centígrados con tiempos de

tratamientos cortos (3-7 días). Según Wanapat *et al.* (1996), la temperatura óptima para la ureólisis se encuentra entre 30-60°C (30°C es la temperatura de referencia para evaluar la úrea mediante la acción de la ureasa en condiciones de laboratorio).

- Duración del tratamiento

La duración del tratamiento es uno de los factores más importantes que influyen en el proceso de la amonificación, sin embargo se observa una importante interacción entre la temperatura y la duración del tratamiento.

Para temperaturas superiores a 25-30°C, la ureólisis se lleva a cabo en unos pocos días o incluso menos si la humedad no es un factor limitante. De ello se deduce que para una temperatura ambiental entre 30-40°C, se consigue la máxima eficacia del tratamiento después de una semana (Chenost y Kayouli, 1997). Por ejemplo, los estudios realizados en la India han demostrado que para la paja de arroz tratada con 4 a 5 kg de úrea y 60 l de agua por cada 100 kg de paja, se observó eficiencias similares del tratamiento entre los tiempos de 8, 5 y hasta 4 días (Stiefel *et al.*, 1991).

Por el contrario, para zonas con temperaturas más bajas se requieren mayor duración del tratamiento debido a que la actividad de las bacterias ureolíticas se ve mermada, de igual forma Williams *et al.* (1984) indican que en el tratamiento con úrea, la actividad de la enzima ureasa puede verse reducida debido a temperaturas extremas. Cloete y Kritzing (1984) observaron un bajo nivel de la actividad ureásica a 4°C y 35°C, sin embargo Sundstol y Coxworth (1984) observaron que el efecto negativo de las bajas temperaturas es compensado con un periodo de tratamiento más largo, por ello un rango entre 3 a 5 semanas es recomendable para estas regiones (Chenost y Kayouli, 1997). En el Cuadro 10, se presenta los tiempos requeridos para una adecuada ureólisis según la temperatura ambiental de la zona.

Cuadro 10: Tiempo requerido para el tratamiento de acuerdo a la temperatura ambiental

Temperatura ambiental	Duración del tratamiento
<5°C	>8 semanas
5-15°C	4 a 8 semanas
15-30°C	1 a 4 semanas
>30°C	<1 semana

Fuente: Sundstol *et al.* (1978)

- Contenido de humedad

La humedad es otro factor importante en la amonificación. Según Wanapat *et al.* (1996), el contenido de humedad no debe ser menor al 30 por ciento ni mayor al 60 por ciento, debido a que por debajo del 30 por ciento la ureólisis se reduce o no se lleva a cabo. Además, es más difícil comprimir el forraje y expulsar el aire cuando el contenido de humedad es bajo, lo que resulta en un bajo contenido de amoniaco y un exceso de oxígeno en el medio que llevará al desarrollo de hongos.

- Calidad inicial y tipo de material

Waiss *et al.* (1982) y Kernan *et al.* (1977) citados por Sundstol *et al.* (1978) indican que la mejora es más marcada cuando se procesan materiales de relativamente poca digestibilidad que en el caso de materiales de mayor digestibilidad.

Según Chenost y Kayouli (1997), los principales forrajes para ser tratados con úrea incluyen la paja de cereales de grano pequeño como el arroz y el trigo, tallos de cereales como el maíz, el sorgo, el mijo junto con hierbas locales recogidas durante la época seca y henos de pobre calidad. En general, se recomienda el tratamiento de forrajes “muertos” (marchitados y no verdes), y que no estén húmedos para evitar errores en la aplicación, como adicionar demasiada agua o úrea.

- Cierre hermético del tratamiento

Para alcanzar éxito en el tratamiento aplicado a las pajas, se debe lograr un cierre hermético, para evitar pérdidas de la solución de úrea introducida o del amoníaco generado y también, para asegurar un ambiente anaeróbico, que sirve como garantía contra el desarrollo de moho dentro de la masa de forraje húmedo recién tratado. En efecto, el amoníaco, que es más ligero que el aire, se difunde por todo el forraje y tiene una tendencia a escapar si el forraje no está lo suficientemente compacto y almacenado herméticamente; sin embargo, la presión generada progresivamente por el amoníaco de la úrea es mucho menor que cuando el tratamiento se lleva a cabo mediante la inyección de amoníaco anhidro (Chenost y Kayouli, 1997).

c. Tratamiento con hidróxido de calcio

Los tratamientos químicos como hidróxido de sodio, amoníaco y úrea incrementan el valor nutricional de los residuos de cosecha; por el contrario, pocos estudios han sido elaborados con hidróxido de calcio. Sin embargo, se conoce que no hay efecto adverso en el animal alimentado con residuo tratado con hidróxido de calcio porque la mayor parte del calcio adicional es excretado en las heces (Gandhi y Holtzapple, 1998).

Recientemente, la cal ($\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$) ha sido pensada como un potencial álcali para el tratamiento de residuos de cosecha porque es económica, disponible y favorece la liberación de los enlaces lignocelulosa (Owen *et al.*, 1984; Sundstol, 1985; Doyle *et al.*, 1986; citados por Wanapat *et al.*, 2013). Además, los residuos de calcio, los cuales quedan en las pajas tratadas, no causan serios problemas en el animal ni en el medio ambiente (Chaudhry, 1998; citado por Wanapat *et al.*, 2013) y puede ser un suplemento de calcio si la paja es deficiente en éste. Sin embargo, se ha identificado un problema con este álcali, Owen *et al.* (1984) encontraron que pajas tratadas con sólo $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tienden a formar moho con el tiempo, por ello es necesario mezclar úrea con hidróxido de calcio, ya que la úrea se hidroliza a amoníaco y este compuesto inhibe el crecimiento de moho.

Se ha reportado que el hidróxido de calcio es un álcali débil de baja solubilidad en agua que puede ser usado para incrementar la utilización de la paja y para suplementar la ración

con calcio (Hadjipanayiotou, 1984; Pradhan *et al.*, 1997; Chaudhry, 1998). El proceso del tratamiento con hidróxido de calcio involucra mezclar la cal con agua, rociar esta mezcla sobre el residuo de cosecha a tratar, cuyo tamaño de partícula debe ser 10 mm o menos, y almacenar el material tratado por horas o semanas dependiendo de la temperatura ambiental, ya que las elevadas temperaturas reducen el tiempo de contacto (por ejemplo, 3 horas a 85°C para paja de trigo y 13 horas a 100°C para rastrojo de maíz) (Mosier *et al.*, 2005). El modo de acción del hidróxido de calcio es similar a otros álcalis, ya que remueve la lignina de la biomasa del residuo, lo que mejora la reactividad de los polisacáridos restantes. Además, el álcali remueve el acetil y las diversas sustituciones de ácidos urónicos en la hemicelulosa que reducen la accesibilidad de la enzima a la superficie de la hemicelulosa y la celulosa (Chang y Holtzaple, 2000).

Desde que la cal está disponible a bajo precio en China, el uso de hidróxido de calcio para tratar residuos de cosecha atrajo el interés desde los 50's. El hidróxido de calcio es, generalmente, menos efectivo en el tratamiento de residuos de cosecha que otros recursos alcalinos, como hidróxido de sodio o amoníaco, sin embargo combinaciones de Ca(OH)_2 con úrea u otros álcalis parece resolver este problema. Mao Huaming y Feng Yanglian (1991) citados por Tingshuang *et al.* (2002) mostraron que el arroz y la paja de trigo tratados con combinaciones de Ca(OH)_2 con úrea incrementó la proteína cruda en 5.2 veces (8.3 vs 3.1 por ciento) y la digestibilidad *in situ* de la materia seca en 69.8 por ciento (65.9 vs 38.8). En un ensayo de alimentación (Feng Yanglian, 1996 citado por Tingshuang *et al.*, 2002), se observó que novillas lecheras alimentadas con paja de arroz tratada con una mezcla de úrea y cal mostraron un incremento significativo en el consumo de materia seca (de 6.56 a 6.89 kg), ganancia de peso (de 829 a 898 g/día), conversión alimenticia (de 7.9:1 a 7.6:1) comparado con aquellas novillas alimentadas con paja no tratada.

Zaman y Owen (1995) evaluaron el efecto del hidróxido de calcio y úrea en la paja de cebada y concluyeron que es una alternativa al tratamiento químico con hidróxido de sodio o amoníaco por incrementar el valor nutritivo del residuo de cosecha; por ejemplo, para la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), el residuo tratado con 30 g úrea + 60 g Ca(OH)_2 /kg MS paja, 60 g úrea + 60 g Ca(OH)_2 /kg MS paja o 30 g NaOH/kg MS paja obtuvieron valores similares de digestibilidad (67 por ciento), mientras que el residuo no tratado obtuvo 48.5 por ciento DIVMO. Fadel *et al.* (2003) probaron úrea + hidróxido de calcio (20 g úrea + 5 g Ca(OH)_2 /kg MS paja) como una alternativa relativamente segura y

barata que amoníaco (30 g solución amoníaco/kg MS paja); aunque la mejora en la degradabilidad en el rumen fue menor en el tratamiento úrea-hidróxido de calcio que en el de amoníaco, su uso puede ser más deseable porque es menos costoso de obtener, de naturaleza menos peligrosa, y fácilmente disponible. Recientemente, Wanapat *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la úrea e hidróxido de calcio en el consumo, digestibilidad, fermentación ruminal y producción de leche en vacas en lactación; estos autores probaron 5.5 por ciento de úrea y 2.2 + 2.2 por ciento de úrea-hidróxido de calcio en paja de arroz y concluyeron que este último tratamiento es una alternativa al tratamiento con sólo úrea debido a su efectividad al incrementar consumo y digestibilidad y a su beneficio en costo.

2.4.3. Métodos biológicos

Existen diversos métodos biológicos como por ejemplo producción de hongos capaces de degradar la lignina como parte de su crecimiento, producción de organismos celulolíticos, tratamientos directos con celulasas y ligninasas, etc. Walli (2010) indica que los hongos lignolíticos utilizan como sustrato energético la celulosa y hemicelulosa para su crecimiento y han sido evaluados en la degradación de la lignina de los residuos de cosecha, a fin de incrementar su valor nutritivo al disminuir el contenido de lignina e incrementar el contenido proteico por la presencia de los mismos en el residuo. La degradación de la lignina es un proceso oxidativo y dependiente de peróxido de hidrógeno, en donde la enzima lignina peroxidasa descompone el polímero de lignina en productos que se convierten finalmente a dióxido de carbono.

El problema con esta metodología es que las técnicas biológicas son todavía demasiado sofisticadas para ser desarrolladas a nivel práctico; además, la pérdida de energía en el sustrato, debido al desarrollo de los hongos, no es compensado por la producción de sus sustancias ricas en proteínas (Wanapat *et al.*, 1996).

2.5.DE LA EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE COSECHA

Históricamente, se ha ido desarrollando métodos tendientes a medir en forma lo más precisa posible el valor nutritivo de los alimentos. En la medida que se ha ido avanzando y

se han intensificado las técnicas de alimentación animal, se ha hecho más importante encontrar un método óptimo. A continuación se describirá dos técnicas para evaluar la calidad del alimento: digestibilidad *in vitro* y producción de gas total.

2.5.1. Sobre la digestibilidad *in vitro*

La determinación de la ingesta y la digestibilidad *in vivo* es tediosa, costosa, consume tiempo, requiere grandes cantidades de alimento y es inadecuada para una gran escala de evaluación (Carro *et al.*, 1994), por ello se ha elaborado una gran cantidad de ensayos para predecir la ingesta y la digestibilidad usando técnicas de laboratorio.

La digestibilidad de los alimentos se puede estimar usando métodos biológicos los cuales simulan el proceso de digestión. Las tres mayores técnicas disponibles para determinar el valor nutritivo de los alimentos son: digestión con microorganismos del rumen como lo trabajó Tilley y Terry (1963) o el método del gas (Menke *et al.*, 1979), uso de celulasa fúngica y la incubación *in situ* usando bolsas de nylon en el rumen.

La técnica de Tilley y Terry (1963) es una herramienta importante para la evaluación de los alimentos y es usada ampliamente debido a su facilidad de manejo, sobre todo cuando se requiere evaluar una gran cantidad de muestras. Este método consta de dos fases, en la primera, una cantidad conocida de muestra se somete a 48 horas de incubación en una solución tampón que contiene fluido ruminal en condiciones controladas de tiempo, temperatura, pH y ambiente anaeróbico, y en la segunda fase ocurre la digestión del residuo de la primera con pepsina en una solución ácida. El método fue modificado por Van Soest *et al.* (1966), en el cual el residuo después de 48 horas de incubación se trató con una solución detergente neutro para estimar la digestibilidad real de la materia seca. Esta modificación se fundamenta en que el residuo no digerido en el método de Tilley y Terry (1963) contiene una proporción significativa de material de origen bacteriano, que no necesariamente corresponde a la materia metabólica fecal de los ensayos *in vivo*, por lo que en el método de Van Soest, los residuos bacterianos son extraídos por el detergente y la única materia que escapa es la parte indigerible de las paredes celulares. El residuo no digerido es expresado como porcentaje de la materia seca de la muestra, valor que se resta de 100 para obtener un estimado de la digestibilidad verdadera de la materia seca *in vitro*.

Aunque el método de Tilley y Terry (1963) ha sido ampliamente validado con valores *in vivo* parece tener desventajas, como por ejemplo no proporciona información sobre la cinética de la digestión del forraje y se necesita un gran número de repeticiones.

Joy *et al.* (1992) utilizaron la técnica de Tilley y Terry para evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en paja de trigo tratada con 3, 4, 5 y 6 por ciento de úrea, encontrando una DIVMS de 41.7, 44.1, 45.9 y 47.4 por ciento, respectivamente, mientras que el control obtuvo 36.7 por ciento. De igual forma, Zaman y Owen (1995) utilizaron la técnica de Tilley y Terry para evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) en paja de cebada picada y tratada con una mezcla de hidróxido de calcio (0, 30 y 60 g/kg MS) y úrea (0, 30 y 60 g/kg MS) disueltos en 0.8 lts agua/kg MS y almacenados a 15 y 25°C por 60 días. Estos autores encontraron que la paja ensilada a 15°C con 30 g úrea + 60 g Ca (OH)₂/kg MS o 60 g úrea + 60 g Ca(OH)₂/kg MS tienen similar DIVMO (67.0 por ciento), mientras que el control obtuvo 48.5 por ciento.

2.5.2. Sobre la producción de gas total

Cuando el alimento es incubado *in vitro* en un fluido ruminal tamponado, los carbohidratos son fermentados a ácidos grasos de cadena corta (AGCC), gases (CO₂ y CH₄) y células microbiales. La producción de gas es básicamente el resultado de la fermentación de carbohidratos a acetato, propionato y butirato (Blummel y Ørskov, 1993); por el contrario, la producción de gas proveniente de la fermentación proteica es relativamente pequeña comparada con la fermentación de los carbohidratos (Wolin, 1960).

El gas producido mediante esta técnica es el gas directo producido como resultado de la fermentación (CO₂ y CH₄) y el gas indirecto producido desde el búfer de AGCC (CO₂ liberado del tampón bicarbonato) (Getachew *et al.*, 1998).

El gas se produce principalmente cuando el sustrato se fermenta a acetato y butirato, mientras que la fermentación del sustrato a propionato rinde gas sólo del búfer del ácido y, por lo tanto, la producción de gas relativamente menor está asociada con la producción de propionato (Wolin, 1960). La proporción molar de los AGCC producidos depende del tipo de sustrato (Blummel y Ørskov, 1993) y una variación en la proporción de estos ácidos

será reflejado en cambios en la producción de gas, es decir, si la fermentación del alimento libera una alta proporción de acetato, esto llevará a un incremento en la producción de gas comparado con un alimento con mayor proporción de propionato (alimentos con carbohidratos rápidamente fermentables) (Getachew *et al.*, 1998).

Menke *et al.* (1979) desarrolló un sistema de evaluación de alimentación utilizando una técnica *in vitro* de medición de gas. Las fermentaciones se llevan a cabo en jeringas de vidrio calibradas a 100 ml que contienen el alimento y un fluido de rumen tamponado. En este sistema, la producción de gas a 24 horas observado en la incubación de 200 mg de materia seca de alimento guarda buena correlación con la digestibilidad de la materia orgánica determinada *in vivo* en ovejas; además el volumen del gas producido en este tiempo se utilizó junto con la concentración de otros constituyentes químicos para predecir la energía metabolizable (Menke y Steingass, 1988). Cuando una muestra de 200 mg se utiliza, el método es relativamente simple de manejar y un número relativamente grande de muestras se pueden analizar a la vez. Sin embargo, las jeringas son estrechas y es difícil colocar una gran cantidad de muestra (>500 mg), en particular cuando los alimentos son voluminosos, por ejemplo, pajas y tallos. Las jeringas son de 100 ml de capacidad y puede acomodar el gas producido a partir de una muestra de 200 mg sin ningún tipo de retroceso del émbolo de la jeringa para eliminar el gas de éstas; sin embargo, cuando se incuba una mayor cantidad de muestra, se produce más gas y esto requiere retrocesos frecuentes del émbolo, lo cual es un inconveniente y una fuente potencial de error (Getachew *et al.*, 1998).

Las ventajas de las técnicas de medición de gas sobre otras técnicas *in vitro* para la evaluación de alimentos han sido descritas por Blummel y Ørskov (1993), y éstas son: otros métodos *in vitro* se basan en mediciones gravimétricas que provocan la desaparición del sustrato (los componentes pueden o no contribuir necesariamente con la fermentación), mientras que la medición de gas se centra en la aparición de los productos de fermentación (productos solubles pero no fermentables no contribuyen a la producción de gas). Además, en el método del gas, la cinética de la fermentación puede ser estudiada en una sola muestra, esto significa que se requiere una cantidad relativamente pequeña de muestra o un mayor número de éstas pueden ser evaluadas a la vez (Getachew *et al.*, 1998).

Un ejemplo del uso de la técnica de Menke para medir producción de gas total en residuos de cosecha es el trabajo de Blummel y Orskov (1993) quienes trataron la paja de cebada con amoníaco anhidro y midieron la producción de gas a las 24 horas, encontrando una producción de gas de 23.8 ml/200 mg MS en la paja sin tratar y 35.6 ml/200 mg MS en la paja tratada. De igual forma evaluaron el efecto del amoníaco anhidro en la paja de trigo, obteniendo una producción de gas de 19.6 y 28.1 ml/200 mg MS en la paja sin tratar y tratada, respectivamente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio de investigación fue conducido con los ganaderos de las comunidades de Chalhuan y Sallahuachac ubicadas en el distrito de Sincos, provincia de Jauja, departamento de Junín, a 3308 y 3810 msnm, respectivamente. La temperatura mínima y máxima de las zonas en estudio fue 0.7 y 19.5°C, respectivamente.

3.2. DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tuvo una duración de dos años y se dividió en tres partes: el trabajo experimental en las comunidades Chalhuan y Sallahuachac se realizó en dos meses (época seca 2014), los análisis químicos se llevaron a cabo durante cinco meses y las encuestas para caracterizar el perfil alimentario de las zonas en estudio se desarrolló durante un año.

3.3. TRATAMIENTO DE LAS PAJAS DE CEBADA Y AVENA

Se realizó un taller preliminar con los ganaderos en cada comunidad en estudio para determinar los residuos de cosecha de mayor disponibilidad y de esta forma, sea de utilidad la presente investigación, encontrándose que ambas comunidades tienen gran disponibilidad de paja de cebada y avena en época seca.

Se utilizó 300 kg de paja de cebada (*Hordeum vulgare variedad local*), denominada en la zona cebada común y 300 kg de paja de avena (*Avena sativa variedad local*), denominada en la zona avena común por cada ganadero, en total, se trabajó con cuatro ganaderos, dos

provenientes de la comunidad de Chalhuan y dos de Sallahuachac, comunidades donde se realizó la parte experimental.

Las pajas recibieron un pre-tratamiento físico que fue el picado y luego un tratamiento químico con úrea e hidróxido de calcio (Anexo 18), los cuales se detallan a continuación.

3.3.1. Del pre-tratamiento físico

El pre-tratamiento físico de la paja de cebada y avena, que fue la primera parte del tratamiento físico-químico, consistió en el picado de las mismas, mediante el uso de un molino picadora mixta modelo MP-700, motor gasolinero 7.0 HP Gx300 marca Honda, con rueda de carretilla.

Para determinar el tamaño de picado óptimo se utilizó el separador de partículas Penn State, descrito por Heinrichs y Kononoff (2002), con el cual se obtuvo un tamaño de picado de 2.6 cm. para los residuos de cebada y avena.

3.3.2. Del tratamiento químico

Los productos químicos que se evaluaron fueron: úrea, la cual posee 46 por ciento de nitrógeno y cal agrícola, cuya disponibilidad de hidróxido de calcio se encuentra entre 50-60 por ciento. Se llevó a cabo tres tratamientos químicos de la paja de cebada y avena:

T1: 100 kg de paja picada como testigo.

T2: Añadir 5 kg de úrea por cada 100 kg de paja picada.

T3: Añadir 2 kg de úrea + 3 kg de hidróxido de calcio por cada 100 kg de paja picada.

La mezcla úrea-hidróxido de calcio se utilizó como alternativa al tratamiento con sólo úrea, debido a que el primero es una opción más económica. En la presente investigación, el costo de la úrea fue 1.30 soles/kg, mientras que el hidróxido de calcio fue 0.20 soles/kg.

Para determinar la cantidad de agua a utilizar se realizó el cálculo basándose en la humedad indicada en la literatura para cada residuo. En el caso de la paja de cebada, se

tomó como base que posee un 12 por ciento de humedad inicial y la paja de avena, un 7 por ciento, según lo describe Tingshuang *et al.* (2002); buscando alcanzar un 30 por ciento de humedad final luego de aplicado los tratamientos. La fórmula para calcular la cantidad de agua a utilizar fue la siguiente:

$$\text{Cant. agua a agregar (L)} = \frac{(\text{Hd final} - \text{Hd inicial}) * \text{Cant. Paja kg a tratar}}{(1 - \text{Hd final})}$$

Aplicando la fórmula, la cantidad de agua a agregar fue de 25.7 l para 100 kg de paja de cebada y 32.9 l para 100 kg de paja de avena. La úrea e hidróxido de calcio se diluyó en el agua calculada de acuerdo al tipo de paja a tratar, y luego se asperjó esta solución uniformemente a la paja de cebada y avena con la ayuda de una mochila aspersora manual.

3.3.3. De las condiciones y el tiempo

La paja fue mezclada con la solución de úrea e hidróxido de calcio dependiendo el tratamiento y colocada en bolsas de plástico, de tal manera que la paja quedara distribuida uniformemente y se apisonó para evitar espacios vacíos. Luego se cubrió con plástico para evitar el ingreso de agua de lluvia y además, que los rayos solares lleguen directamente, según lo recomienda ESGPIP (2007). En estas condiciones de cierre se almacenó las pajas tratadas por cuatro semanas según lo recomienda Sundstol *et al.* (1978), quienes sugieren este tiempo de almacenamiento cuando la temperatura ambiental de la zona se encuentra entre 5-15°C, al cabo de los cuales se destapó los tratamientos para realizar el muestreo que sirvió para los análisis.

El material tratado fue colocado en bolsas de plástico para evitar las pérdidas de amonio, según lo recomienda Ibrahim *et al.* (1983), quienes evaluaron diferentes medios de almacenamiento de la paja de arroz tratada con úrea y encontraron que el medio más eficiente, medido por la menor incidencia de formación de moho y el aumento de la digestibilidad y la ingesta, fueron las pozas de tierra y las bolsas de polietileno, razón por la cual se eligió este último.

En la Figura 6 se describe la secuencia a seguir en el tratamiento con úrea e hidróxido de calcio para cada uno de los residuos de cosecha.

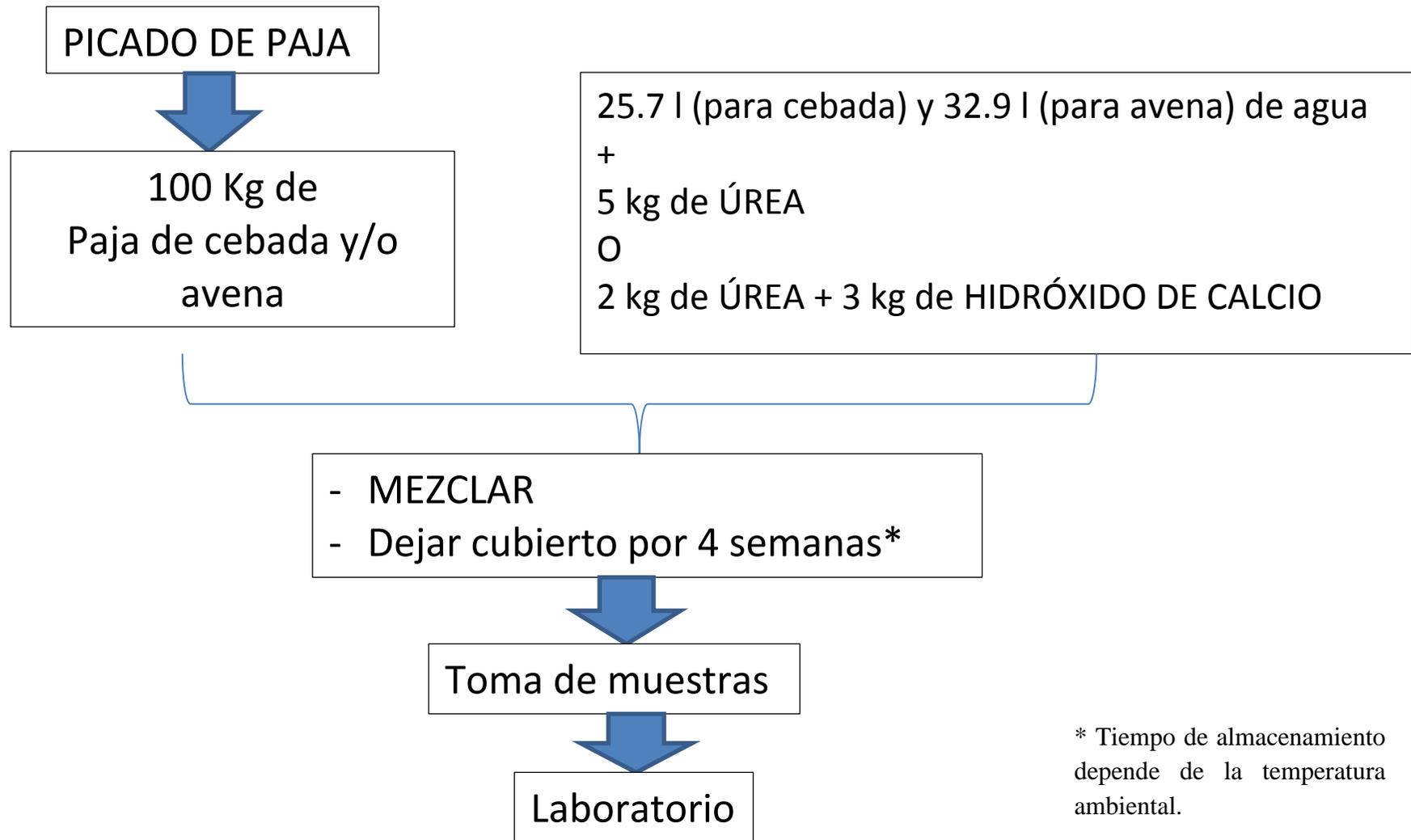


Figura 6: Secuencia a seguir en el tratamiento con úrea e hidróxido de calcio

3.4.TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizó en dos zonas: en la parte superior y en la parte media de las bolsas de plástico, las cuales sirvieron para los análisis químicos de las pajas tratadas. Las muestras obtenidas fueron pre-secadas, para lo cual se colocaron en una estufa con corriente de aire a 60°C, por aproximadamente 12 horas, según lo describe Xuan Trach *et al.* (1998), para permitir la evaporación del amoníaco libre y débilmente unido a la estructura de la paja, y así lograr que sólo el nitrógeno fijado sea detectado en el análisis Kjeldahl..

Estas muestras secas fueron molidas en un Molino Wiley de ½ HP con malla de 1 mm, siendo guardadas en frascos de plástico previamente identificados, de donde se obtuvieron las muestras para los análisis químicos.

3.5.EVALUACIÓN QUÍMICA DE LAS PAJAS TRATADAS

La evaluación química de las pajas de cebada y avena tratadas con úrea e hidróxido de calcio se realizó mediante determinación de la composición química, pruebas de digestibilidad *in vitro* y producción de gas total. Las dos primeras se desarrollaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, mientras que la producción de gas total se midió en el Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos de la Universidad de Hohenheim - Alemania.

3.5.1. Composición química

Los análisis se realizaron siguiendo las normas técnicas de la AOAC (2005). Se determinó materia seca, materia orgánica, ceniza, proteína cruda y fibra detergente neutro, este último siguiendo la metodología de ANKOM (2011).

3.5.2. Digestibilidad *in vitro*

Se utilizó la técnica de Tilley y Terry (1963) modificada por Van Soest *et al.* (1966) para determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente

neutro. Las muestras fueron incubadas con licor ruminal por 48 horas, para que ocurra la fermentación del alimento realizada por los microorganismos ruminales. Esto permitió obtener valores de digestibilidad verdadera mediante la determinación de los constituyentes no digeridos de las paredes celulares.

3.5.3. Producción de gas total

Se midió la producción de gas (ml) mediante la metodología de Menke *et al.* (1979), para lo cual se incubó los residuos de cosecha con licor ruminal por 24 horas y se estimó la digestibilidad de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable a partir de la producción de gas obtenida (Anexos 19 y 20).

Para estimar la digestibilidad de la materia orgánica se utilizó la siguiente fórmula:

$$DMO = 14.88 + 0.889Gb + 0.045PC + 0.065CZ$$

Dónde:

DMO: digestibilidad de la materia orgánica (%)

Gb: producción de gas (ml/200 mg MS, 24 horas)

PC: proteína cruda (g/kg MS)

CZ: ceniza (g/kg MS)

Para estimar el contenido de energía metabolizable se utilizó la siguiente fórmula:

$$EM = 2.20 + 0.136Gb + 0.0057PC + 0.00029EE^2$$

Dónde:

EM: energía metabolizable (MJ/kg MS)

Gb: producción de gas (ml/200 mg MS, 24 horas)

PC: proteína cruda (g/kg MS)

EE: extracto etéreo (g/kg MS)

3.6.DISEÑO ESTADÍSTICO

Para la composición química, digestibilidad *in vitro* y producción de gas se utilizó un Diseño Anidado con 4 factores. Los análisis se realizaron con el PROC. ANOVA y prueba de DLS ($p \leq 0.05$) o Duncan ($p > 0.05$) según el nivel de significancia, del SAS v8 (Bravo, 2004).

El modelo aditivo lineal que se utilizó para el procesamiento de los datos obtenidos en los análisis químicos fue:

$$Y_{m(ijf)} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \gamma_f + \tau\gamma_{if} + \beta\gamma_{j(i)f} + \epsilon_{m(ijf)}$$

$Y_{m(ijf)}$ = Observaciones para las variables dependientes.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i-ésima comunidad.

$\beta_{j(i)}$ = Efecto del j-ésimo ganadero dentro de la i-ésima comunidad.

γ_f = Efecto del f-ésimo tratamiento.

$\tau\gamma_{if}$ = Efecto de la interacción de la i-ésima comunidad y el f-ésimo tratamiento.

$\beta\gamma_{j(i)f}$ = Efecto de la interacción del j-ésimo ganadero dentro de la i-ésima comunidad con el f-ésimo tratamiento.

$\epsilon_{m(ijf)}$ = Efecto del error.

Cuadro 11: Esquema del Diseño Experimental

Comunidad		Chalhuas		Sallahuachac	
Ganadero		G1	G2	G3	G4
Tratamientos	T1	m1	m1	m1	m1
		m2	m2	m2	m2
	T2	m1	m1	m1	m1
		m2	m2	m2	m2
	T3	m1	m1	m1	m1
		m2	m2	m2	m2

Fuente: Elaboración propia

3.7. CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ALIMENTARIO

Para caracterizar el perfil alimentario del sistema ganadero de las comunidades alto andinas del valle del Mantaro en estudio se utilizó la metodología de encuestas, cuyo modelo se muestra en el Anexo 16. Estas se enfocaron en el componente de alimentación (tipo y cantidad) de las vacas en producción y el nivel de producción de éstas para así, cuantificar el alimento ofrecido al ganado en época lluviosa y de seca y de esta forma, lograr entender la importancia de buscar alternativas en el tratamiento de residuos de cosecha para incrementar su valor nutritivo.

Las encuestas se realizaron cada dos meses durante un año a 7 ganaderos por comunidad de manera preliminar, las cuales fueron resumidas en hojas de cálculo de Microsoft Excel 2010, con el que se hallarán los resultados sobre la base de promedios, gráficos, porcentajes y rangos (Anexo 17).

Para determinar el perfil alimentario del ganado lechero en las comunidades en estudio, se siguió los siguientes pasos:

- Medir la producción de leche (lts) por vaca en cada comunidad durante los meses de evaluación, y calcular el promedio de la producción de leche entre las dos comunidades para cada mes.
- Calcular el consumo de materia seca (kg) durante los meses de evaluación, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} FCL: \text{leche corregida al 4\% grasa (kg)} \\ = 0.4 * \text{kg leche} + 15 * 4.2/100 * \text{kg leche} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo materia seca (kg)} = 0.0185 * \text{peso vivo (kg)} + 0.305 * FCL(\text{kg})$$

Se consideró un peso vivo promedio de 380 kg.

- Calcular la alimentación promedio (kg/animal/día) de las vacas en producción en base fresca y base seca durante los meses de evaluación, para lo cual la cantidad de alimento ofrecido en la forma de pasto cultivado, pajas de cereales y heno de avena se determinó mediante las encuestas, mientras que el consumo de pasto natural se calculó por diferencia para alcanzar el consumo de materia calculado para cada mes de evaluación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS

El análisis químico de las pajas de cebada y avena evaluadas se puede apreciar en el Cuadro 12, expresado como porcentaje del total de materia seca de la muestra (Anexos 2, 5, 6, 7, 8 y 9). Se puede apreciar que el contenido de materia seca disminuye en los residuos de cosecha tratados, siendo estadísticamente significativo sólo en el tratamiento con úrea. En cuanto a la proteína cruda, se observa diferencias significativas entre tratamientos por efecto de la adición de úrea e hidróxido de calcio, es decir, el incremento en el contenido de proteína en las pajas de cebada y avena fue de 251 y 318 por ciento en el tratamiento con sólo úrea; y de 49 y 110 por ciento en el tratamiento úrea-hidróxido de calcio, respectivamente. El contenido de fibra detergente neutro no presenta diferencias significativas entre tratamientos.

El contenido de materia orgánica es mayor en el tratamiento con úrea comparado con el tratamiento úrea-hidróxido de calcio, lo cual concuerda con lo encontrado por Oliveros *et al.* (1993); además el contenido de ceniza incrementó significativamente en ambos residuos de cosecha tratados con una mezcla de úrea e hidróxido de calcio, lo cual concuerda con lo hallado por Zaman y Owen (1995). En cuanto a la proteína cruda (nitrógeno total*6.25), ésta fue mayor en el tratamiento con sólo úrea, debido a que el nitrógeno liberado a través de este proceso está ligado a la paja por lo cual aumenta su valor proteico (considerar que este incremento se debe al nitrógeno no proteico aportado por la úrea), como lo explica ESGPIP (2007); de igual forma Wanapat *et al.* (2009) encontraron que el contenido de proteína cruda es mayor al tratar la paja de arroz con 5.5 por ciento de úrea y menor al utilizar 2.2 + 2.2 por ciento de úrea-hidróxido de calcio, lo cual puede ser debido a la baja concentración de úrea utilizada en la mezcla. Sin embargo, este mismo autor indica que usar una mezcla de úrea e hidróxido de calcio tiene la ventaja

de reducir el fuerte olor a amoniaco o carbonato de amonio libre. Así mismo, Wanapat *et al.* (2013) obtuvieron un incremento de la proteína cruda de 122 y 115 por ciento al tratar la paja de arroz con úrea y úrea-hidróxido de calcio, respectivamente.

Cuadro 12: Efecto de los tratamientos sobre la composición química (%) de las pajas de cebada y avena en base seca

Análisis	Residuo	Tratamientos		
		Control	Úrea	Úrea+Ca(OH) ₂
MS	Cebada	93.38 ^a	92.23 ^b	93.04 ^a
	Avena	92.74 ^a	91.90 ^b	92.78 ^a
MO	Cebada	92.92 ^{ab}	93.67 ^a	91.20 ^b
	Avena	94.58 ^a	94.79 ^a	92.64 ^b
CZ	Cebada	7.08 ^{ab}	6.33 ^b	8.81 ^a
	Avena	5.43 ^b	5.21 ^b	7.36 ^a
PC	Cebada	5.04 ^c	17.69 ^a	7.52 ^b
	Avena	3.67 ^c	15.33 ^a	7.69 ^b
FDN	Cebada	67.62 ^a	67.12 ^a	68.99 ^a
	Avena	61.88 ^a	63.25 ^a	63.17 ^a

MS = Materia seca. MO = Materia orgánica. CZ = Ceniza. PC = Proteína cruda. FDN = Fibra detergente neutro. Distintas letras en la misma fila indican diferencias significativas (p≤0.05)

En el presente estudio, la fibra detergente neutro presenta un ligero incremento por acción de la úrea e hidróxido de calcio en ambos residuos de cosecha, sin ser estadísticamente significativo. Esto concuerda con lo encontrado por Nurfeta *et al.* (2009), quienes evaluaron la paja de trigo con una mezcla de 2 + 3 por ciento de úrea-óxido de calcio, obteniendo un incremento en la FDN de tres por ciento con respecto al control, lo cual es similar a lo obtenido en el presente estudio en ambos residuos de cosecha. Por el contrario, varios autores encontraron una disminución de la FDN al tratar residuos de cosecha con diferentes compuestos químicos, debido principalmente a la solubilización de la hemicelulosa (Klopfenstein, 1978); así por ejemplo tenemos que Oliveros *et al.* (1993) obtuvieron 82.9 y 79.2 por ciento de FDN al tratar rastrojo de maíz con 56 g de úrea y 56 + 40 g de úrea-hidróxido de calcio por kg de materia seca del residuo, respectivamente,

mientras que el control obtuvo 90 por ciento de FDN. Igualmente, se observó un efecto sinérgico de la úrea y la cal en la reducción de los constituyentes de la pared celular, al tratar la paja de arroz (Trach, 2000) y de trigo (Sirohi y Rai, 1999) con una mezcla de estos compuestos.

En el Cuadro 13 se presenta la pérdida de nitrógeno en porcentaje en las pajas de cebada y avena tratadas. El tratamiento con cinco por ciento de úrea presentó menores pérdidas de nitrógeno, mientras que estas pérdidas fueron mayores en el tratamiento con dos por ciento de úrea en ambos residuos de cosecha.

Cuadro 13: Pérdida de nitrógeno (%) en las pajas de cebada y avena tratadas

Residuo	Nivel de úrea en el tratamiento	N (kg) en 100 kg de paja			Pérdida en %
		Lo que debería haber	Lo que se encontró	Pérdida	
Cebada	5%	2.30	2.02	0.28	12.00
Avena			1.87	0.43	18.89
Cebada	2%	0.92	0.40	0.52	56.87
Avena			0.64	0.28	30.09

Los temas relacionados a la eficiencia del nitrógeno han alcanzado mucha popularidad en los últimos años debido a la preocupación medioambiental sobre las emisiones de este gas (Wanapat *et al.*, 2009). En este trabajo se ha encontrado una pérdida mínima de nitrógeno en el tratamiento con sólo úrea, siendo ésta de 12 y 19 por ciento para las pajas de cebada y avena, respectivamente; mientras que el tratamiento úrea-hidróxido de calcio presentó pérdidas de 57 por ciento para la paja de cebada y 30 por ciento para la paja de avena. Estas pérdidas son principalmente por volatilización del amoníaco. Los resultados obtenidos son menores a lo encontrado por Nurfeta *et al.* (2009), quienes obtuvieron una pérdida de nitrógeno de 72 por ciento al tratar paja de trigo con úrea-óxido de calcio. Sundstol y Coxworth (1984) reportan que alrededor de un tercio del nitrógeno aplicado con la úrea en el tratamiento de pajas se pierde después del almacenamiento y la aireación, de igual forma Borhami *et al.* (1982) indicaron que el almacenamiento de la paja tratada con amoníaco después de ser aireada reduce el contenido de nitrógeno. Por otro lado, las

muestras fueron pre-secadas en una estufa, lo cual podría resultar en una gran pérdida de nitrógeno y por lo tanto, subestimar la concentración de nitrógeno en la paja tratada. Al respecto, Jayasuriya y Pearce (1983) indicaron que la pérdida de nitrógeno puede ocurrir durante el tratamiento, al abrir el silo y durante el secado de las muestras, lo que hace difícil saber cuánto del nitrógeno añadido permanece en la paja tratada con úrea. Además, Sundstol *et al.* (1978) indicaron que en la fijación del nitrógeno influyen las condiciones de cierre del almacenamiento, así como también la calidad inicial del material tratado.

4.2.DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS

El Cuadro 14 muestra el efecto de los tratamientos sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro de los residuos de cebada y avena (Anexos 3, 10, 11 y 12). En general, se puede apreciar que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica se incrementa en ambos residuos de cosecha al ser tratados con úrea y úrea-hidróxido de calcio; sin embargo, el tratamiento con sólo úrea incrementó significativamente la DIVMS y la DIVMO en aproximadamente 15 por ciento con respecto al control en la paja de cebada, mientras que la paja de avena tratada con úrea y úrea-hidróxido de calcio incrementó significativamente en cinco por ciento la DIVMS y DIVMO con respecto al control, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos. En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro, se observó que los tratamientos con úrea y úrea-hidróxido de calcio fueron superiores al control sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre sí en ambos residuos de cosecha, siendo el incremento de la DIVFDN con sólo úrea de 36 y 16 por ciento y con úrea-hidróxido de calcio de 24 y 17 por ciento en las pajas de cebada y avena, respectivamente.

El residuo de avena no presentó diferencias significativas entre el tratamiento con úrea y úrea-hidróxido de calcio al evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro, pero sí con respecto al control, encontrándose un ligero incremento de las digestibilidades con la mezcla de la úrea e hidróxido de calcio, lo cual concuerda con lo encontrado por Wanapat *et al.* (2009), quienes evaluaron 5.5 por ciento de úrea y 2.2 + 2.2 por ciento de úrea-hidróxido de calcio en la paja de arroz, y no

encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos al evaluar DIVMS y DIVMO, sin embargo la DIVFDN fue significativamente mayor al utilizar úrea-hidróxido de calcio comparado con el control y con el tratamiento con úrea. Del mismo modo, Pradhan *et al.* (1997) sugirieron que la combinación úrea-hidróxido de calcio puede dar mejores resultados que el utilizar ambos compuestos por separado, ya que esta combinación tiene ventajas al incrementar la digestibilidad y el contenido de calcio y nitrógeno. El efecto aditivo del hidróxido de calcio con otros compuestos también ha sido demostrado por Saadulah *et al.* (1981), quien realizó evaluaciones en residuo de arroz y por Hadjipanayiotou (1984), quien evaluó el efecto del nivel y tipo de álcali en la digestibilidad *in vitro* del residuo de cebada.

Cuadro 14: Efecto de los tratamientos sobre la digestibilidad *in vitro* (%) de las pajas de cebada y avena

Análisis	Residuo	Tratamientos		
		Control	Úrea	Úrea+Ca(OH) ₂
DIVMS	Cebada	59.59 ^b	68.20 ^a	63.13 ^b
	Avena	66.11 ^b	68.49 ^{ab}	69.58 ^a
DIVMO	Cebada	58.74 ^b	68.07 ^a	62.47 ^b
	Avena	64.83 ^b	67.95 ^{ab}	68.13 ^a
DIVFDN	Cebada	36.20 ^b	49.08 ^a	45.01 ^a
	Avena	41.31 ^b	47.94 ^a	48.36 ^a

DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca. DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica. DIVFDN = Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro. Distintas letras en la misma fila indican diferencias significativas (p≤0.05).

El residuo de avena tratado con dos por ciento de úrea + tres por ciento de hidróxido de calcio obtuvo mejores valores de digestibilidad *in vitro*, lo cual confirma lo descrito por Wanapat y Cherdthong (2009), quienes reportaron que los agentes alcalinos, por ejemplo hidróxido de calcio, pueden romper los enlaces químicos entre lignina, hemicelulosa y celulosa, lo que permite que los microorganismos del rumen ataquen con mayor facilidad a los carbohidratos estructurales por lo que se puede obtener mayor degradabilidad e ingesta de alimento. Sin embargo, Owen *et al.* (1982) indicaron que el Ca(OH)₂ es un álcali débil comparado con el hidróxido de sodio y por lo tanto, menos eficaz para mejorar la

digestibilidad, aunque esto puede resolverse parcialmente mediante la aplicación de una cantidad suficiente de hidróxido de calcio y permitiendo un tiempo adecuado para que éste actúe sobre la paja. En este sentido, el almacenamiento de las pajas tratadas en bolsas de polietileno condujo en el caso del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a un aumento en la eficacia del producto químico, como lo describe Zaman y Owen (1995), quienes definen el ensilaje como un método eficaz para la conservación y utilización de las pajas porque este proceso permite extender el tiempo de reacción del producto químico aplicado a los residuos de cosecha.

En el residuo de cebada, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica fue significativamente mayor en el tratamiento con úrea, comparado con el control y el tratamiento úrea-hidróxido de calcio, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En el tratamiento con úrea, el incremento de la DIVMS y DIVMO fue de 15 y 16 por ciento, respectivamente, lo cual concuerda con lo encontrado por Joy *et al.* (1992). Estos mismos autores evaluaron el efecto de incrementar la dosis de úrea y encontraron que dosis altas de este compuesto incrementa la digestibilidad de la materia orgánica y el consumo pero no siempre significativamente. Por ello, en términos generales, dosis de 3-5 por ciento de úrea pueden ser consideradas suficientes para incrementar la digestibilidad cuando el tratamiento se realiza con una humedad de 30 por ciento, recomendación que se tomó en consideración en el presente estudio.

La digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro incrementó significativamente con respecto al grupo control al tratar ambos residuos de cosecha con úrea y úrea-hidróxido de calcio sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos. De igual forma, Wanapat *et al.* (2013) demostró que la DIVFDN fue mayor en los tratamientos con sólo úrea y úrea-hidróxido de calcio en residuo de arroz, comparado con el residuo no tratado. Además, estos autores no encontraron diferencias significativas entre los residuos tratados. Hoffman *et al.* (2007) señalan la importancia de determinar la DIVFDN, ya que se ha demostrado que las vacas lecheras en lactación comerán más materia seca y producirán más leche cuando se alimentan con forrajes que tienen mayores valores de digestibilidad de la fibra detergente neutro.

4.3.DE LA PRODUCCIÓN DE GAS, ENERGÍA METABOLIZABLE Y DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS DE COSECHA TRATADOS

El Cuadro 15 muestra el efecto de los tratamientos sobre la producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica de las pajas de cebada y avena (Anexos 4, 13, 14 y 15). La producción de gas tiene una tendencia a incrementar con la aplicación de los productos químicos en el residuo de cebada, pero sin presentarse diferencias significativas entre tratamientos, mientras que la paja de avena presentó mayor producción de gas en el grupo control. La energía metabolizable mostró una tendencia a incrementar al tratar con úrea y úrea-hidróxido de calcio ambos residuos de cosecha, sin embargo sólo resultó significativo este incremento (13 por ciento) con respecto al control al tratar la paja de cebada con úrea. Por otro lado, la digestibilidad de la materia orgánica incrementó significativamente con respecto al control al tratar la paja de cebada con úrea (13 por ciento) y úrea-hidróxido de calcio (7 por ciento); mientras que en la paja de avena, el incremento fue de 4 y 3 por ciento al tratar este residuo con úrea y úrea-hidróxido de calcio, respectivamente, sin presentar diferencias significativas entre ambos tratamientos.

En la paja de cebada, se observa que la producción de gas a las 24 horas tiene una tendencia a incrementar con el uso de productos químicos, lo cual coincide con lo encontrado por Blummel y Orskov (1993) quienes trataron paja de cebada con amoníaco anhidro y encontraron una producción de gas de 23.8 ml/200 mg MS en la paja sin tratar y 35.6 ml/200 mg MS en la paja tratada. Al respecto, Beuvink (1993) indica que el gas producido deriva de dos fuentes: la producción directa de CO₂ y metano y la producción indirecta de CO₂ proveniente de la acción de los ácidos grasos volátiles sobre el bicarbonato en el fluido ruminal y del buffer adicionado por ende, esta producción indirecta de CO₂ varía con la mezcla de ácidos grasos volátiles. De igual forma, Abas *et al.* (2005) señalan que el gas es producido cuando los carbohidratos del alimento son fermentados a ácidos grasos de cadena corta. La velocidad de producción de gas está asociada con el rápido crecimiento de los microorganismos y la velocidad de fermentación sería resultado de la interacción entre los microorganismos y la forma en que ellos digieren las partículas de alimento dentro del sistema, por ello las diferencias en la producción de gas neta están relacionadas a la proporción de sustrato fermentable de los alimentos.

Al estimar la energía metabolizable, se encontró que el tratamiento con sólo úrea incrementó significativamente este parámetro en la paja de cebada; mientras que la paja de avena mostró un mayor valor energético al tratar este residuo con sólo úrea sin presentar diferencias significativas entre tratamientos. Esto se debe a que la estimación se realizó mediante una fórmula que involucra la producción de gas, el extracto etéreo y la proteína cruda, siendo este último mayor en los residuos tratados con sólo úrea, por ende estos presentarán un mayor valor de energía metabolizable. Los valores de producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica obtenidos con los residuos de cosecha sin tratar en el presente estudio coinciden con lo obtenido por Abas *et al.* (2005), quienes evaluaron la metodología de Menke en diferentes forrajes y obtuvieron una producción de gas de 26.18 ml/200 mg MS, una energía metabolizable de 5.25 MJ/kg MS y una digestibilidad de la materia orgánica de 45.23 por ciento en la paja de trigo.

Cuadro 15: Efecto de los tratamientos sobre la producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica de las pajas de cebada y avena

Análisis	Residuo	Tratamientos		
		Control	Úrea	Úrea+Ca(OH) ₂
PG	Cebada	30.57 ^a	31.73 ^a	31.83 ^a
	Avena	38.95 ^a	35.36 ^b	37.51 ^{ab}
EM	Cebada	6.94 ^b	7.82 ^a	7.26 ^b
	Avena	7.91 ^a	8.10 ^a	7.96 ^a
DMO	Cebada	48.92 ^c	55.16 ^a	52.33 ^b
	Avena	54.69 ^b	56.60 ^a	56.47 ^a

PG = Producción de gas (ml/200 mg MS). EM = Energía metabolizable (MJ/kg MS).
DMO = Digestibilidad de la materia orgánica (%). Distintas letras en la misma fila indican diferencias significativas (p≤0.05).

En el caso de la digestibilidad de la materia orgánica, la estimación se realizó mediante una fórmula que involucra la producción de gas, proteína cruda y ceniza, siendo la proteína mayor en el tratamiento con sólo úrea y la ceniza en el tratamiento con úrea-hidróxido de calcio, por ello estos dos tratamientos obtuvieron mayores valores de digestibilidad con respecto al control en ambos residuos de cosecha.

En las Figuras 7 y 8 se presenta la comparación entre el método *in vitro* y el estimado al evaluar la digestibilidad de la materia orgánica en las pajas de cebada y avena.

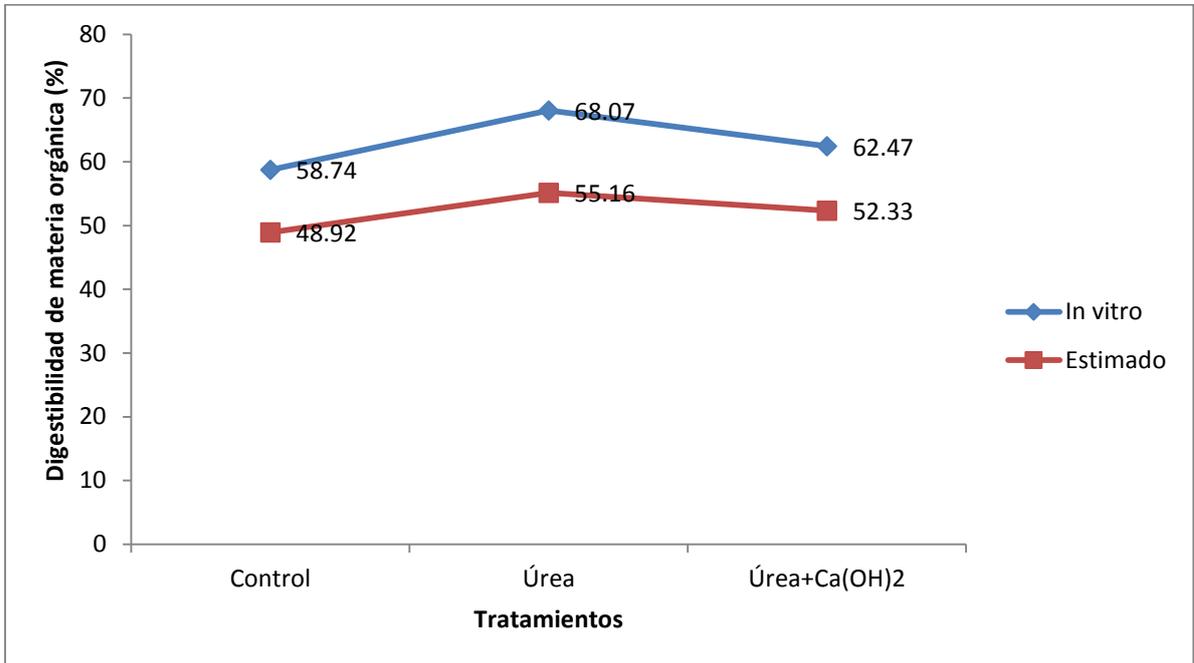


Figura 7: Comparación entre el método *in vitro* y el estimado al evaluar la digestibilidad de la materia orgánica en la paja de cebada

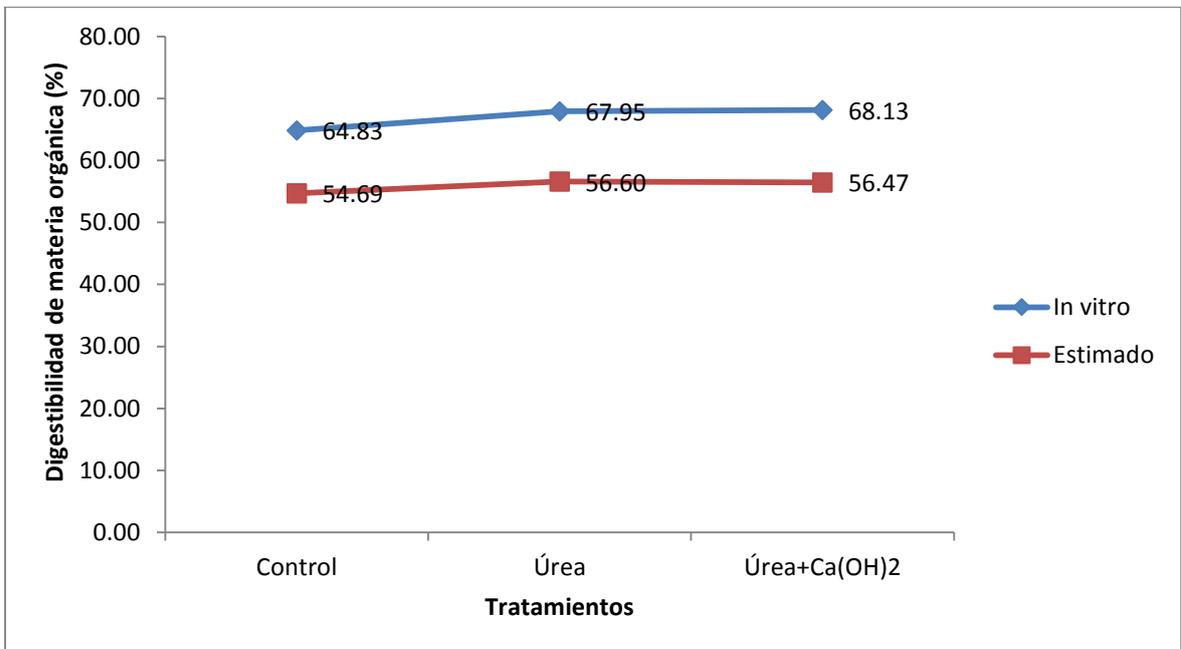


Figura 8: Comparación entre el método *in vitro* y el estimado al evaluar la digestibilidad de la materia orgánica en la paja de avena

En ambos residuos de cosecha, se observa la misma tendencia al comparar la digestibilidad de la materia orgánica obtenida mediante la técnica de Tilley y Terry modificada por Van Soest con la estimación de esta digestibilidad a partir de la producción de gas (metodología de Menke). Sin embargo, esta última metodología obtiene menores valores de digestibilidad de la materia orgánica en ambos residuos, lo cual pudo ser debido a que la incubación en la metodología de Menke se realiza durante 24 horas, mientras que en la técnica de Tilley y Terry se incuban las muestras por 48 horas.

4.4.DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ALIMENTARIO

Según CENEPRED (2015), el periodo de lluvias en nuestro país se inicia, climáticamente, en el mes de setiembre y culmina en abril del siguiente año, sin embargo en los últimos 14 años, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo de diciembre – marzo. Esto concuerda con lo descrito por Avalos *et al.* (2011) quienes informan una reducción anual en el patrón de lluvias de ocho por ciento en el periodo 2001 – 2010 en la provincia de Jauja, lo cual es consecuencia del cambio climático. Además de la disminución en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, CEPAL (2014) indica que las temperaturas máximas y mínimas se han incrementado hasta en 0.2°C por decenio y hay una mayor recurrencia de los periodos secos respecto a los periodos húmedos; por ello, el Perú es considerado un país altamente vulnerable al cambio climático.

Debido a los cambios en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones en los últimos años, se ha considerado los datos obtenidos en los meses de enero y marzo para elaborar el perfil alimentario en época lluviosa (Figura 9) y los meses de setiembre, noviembre, mayo y julio para el perfil alimentario de época seca (Figura 10).

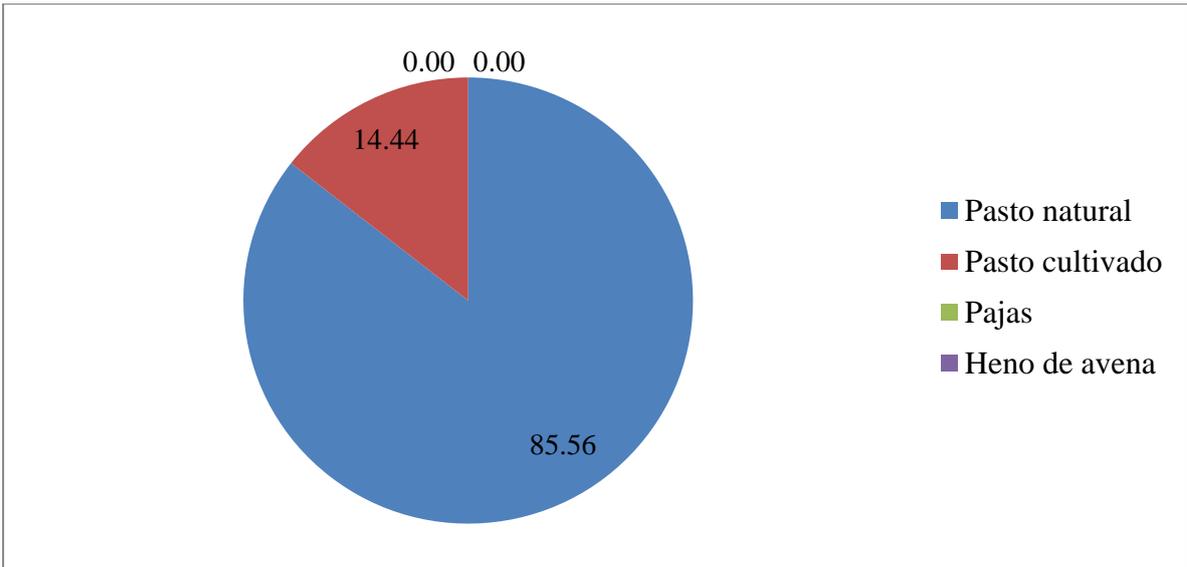


Figura 9: Perfil alimentario en época lluviosa (%)

En el perfil alimentario en época lluviosa, se puede observar que la alimentación del ganado es mayormente a base de pasto natural (8.38 kg MS/animal/día), principalmente *Festuca dolichophylla*, y en menor medida, pasto cultivado (1.41 kg MS/animal/día), compuesto por una asociación de rye grass con trébol (Anexo 17); esto debido a que el ganado está en manos de las comunidades campesinas, quienes utilizan los pastizales como recurso básico para la alimentación de sus animales.

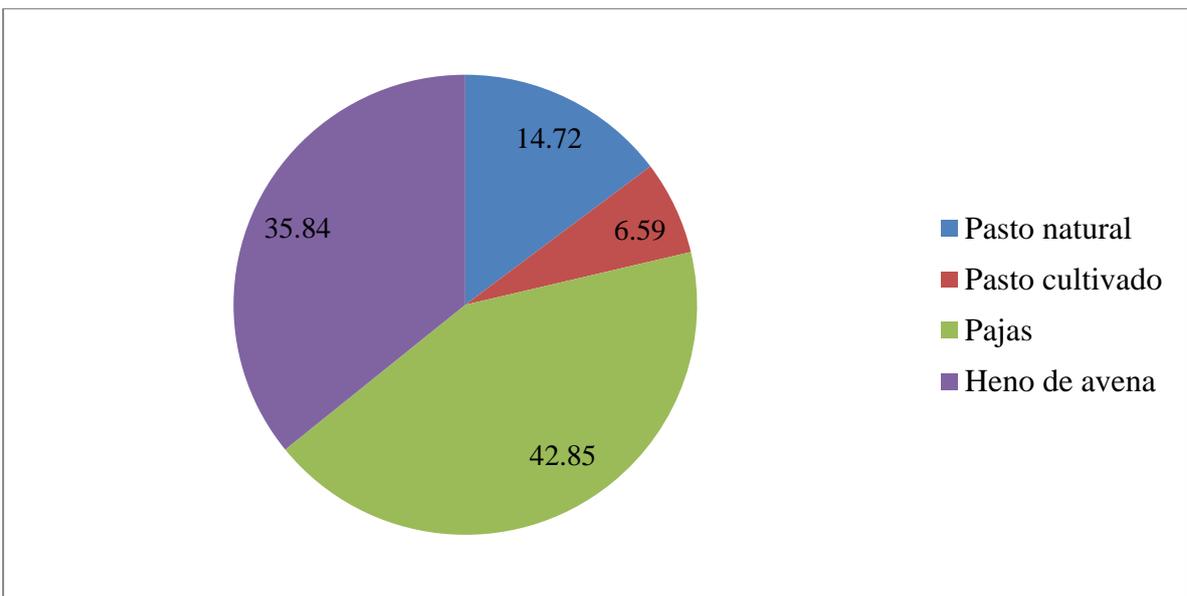


Figura 10: Perfil alimentario en época seca (%)

Debido a la baja disponibilidad de pastizales para la alimentación del ganado en época seca cuya gravedad se ve acentuada por efecto del cambio climático, los ganaderos buscan alternativas de solución; por ello en este periodo, la alimentación del ganado se basa en un 42.85 por ciento en pajas de cereales (cebada y avena), y en un 35.84 por ciento en heno de avena, quedando relegado el uso de los pastos naturales y cultivados debido a su baja disponibilidad. El consumo promedio de pasto natural, cultivado, pajas y heno de avena es de 1.23, 0.55, 3.57 y 2.99 kg MS/animal/día, respectivamente (Anexo 17), lo cual demuestra la importancia de buscar alternativas para mejorar la calidad nutritiva de las pajas, ya que son componente importante de la alimentación del ganado en el periodo seco.

En la Figura 11 se presenta la producción de leche promedio (lts) por vaca en cada comunidad en estudio. Ambas comunidades muestran similar producción de leche durante el periodo de evaluación, siendo esta producción mayor en los meses de diciembre a abril, con un promedio de producción de leche de 8.08 lts en enero y 9.00 lts en marzo; mientras que los meses de setiembre, noviembre, mayo y julio se observa una producción promedio de 2.75, 3.50, 5.29 y 4.68 lts de leche, respectivamente (Anexo 17).

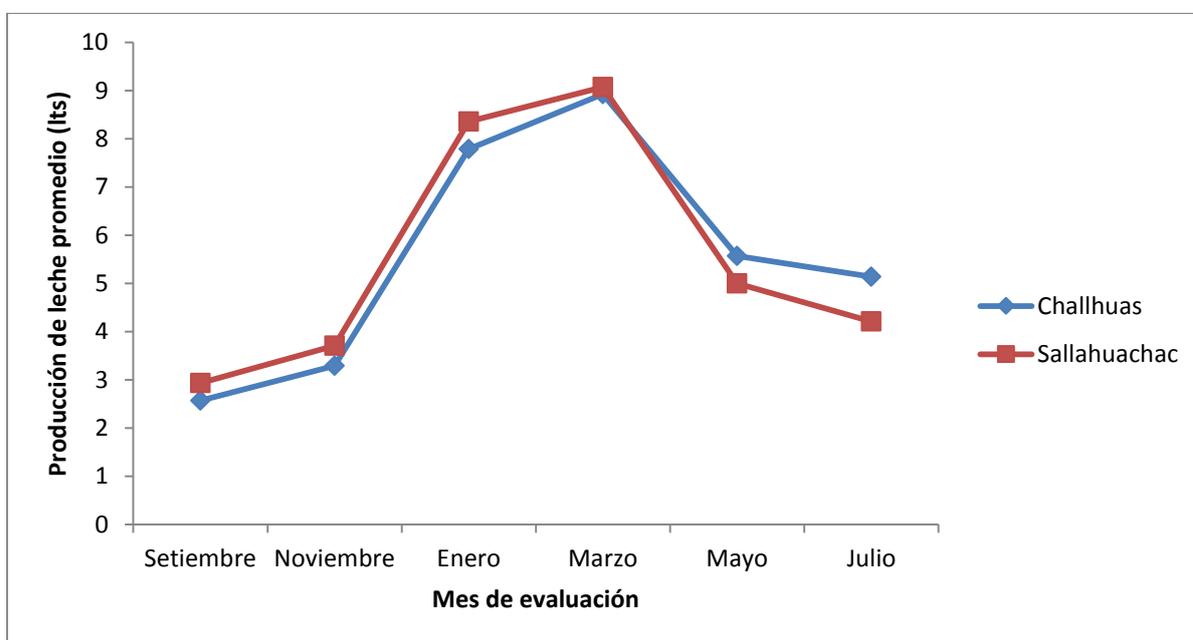


Figura 11: Producción de leche promedio (lts) por vaca en cada comunidad

Los mayores niveles de producción de leche se observa en los meses de enero y marzo en ambas comunidades, debido a la buena disponibilidad de pastos gracias a la presencia de abundantes lluvias; mientras que los meses críticos son setiembre, noviembre, mayo y julio, donde la producción de pastos es mínima por la ausencia de lluvias y por ende, la alimentación del ganado se basa principalmente en pajas de cereales de baja calidad y heno de avena, lo cual demuestra la contribución del manejo alimenticio en la producción de leche, y por ende la importancia de buscar alternativas para incrementar la calidad nutricional de estas pajas. Al respecto, Moe y Tyrrell (1975) definen que la cantidad de leche producida por un animal es el resultado de una serie de acciones combinadas (factores genéticos, historia nutricional, estado de lactación y prácticas de manejo), donde las variaciones en la producción de leche corresponden en 10 por ciento a razones genéticas, 30-40 por ciento a prácticas de manejo y 50-60 por ciento a la nutrición y tipo de dieta. De lo anterior se aprecia que el manejo alimenticio de las vacas lecheras es uno de los factores que tiene mayor incidencia en la producción de leche, y por ende, una buena alimentación permite una mejoría en la producción de leche, sanidad y reproducción del ganado lechero (Hazard, 2015).

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente trabajo, se llega a las siguientes conclusiones:

1. La amonificación con 5 por ciento de úrea incrementó el contenido de proteína cruda de las pajas de cebada y avena, mientras que al tratarlos con 2 por ciento de úrea más 3 por ciento de hidróxido de calcio el incremento fue menor; no se observó efecto de los tratamientos en el contenido de fibra detergente neutro.
2. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica se incrementaron al tratar la paja de cebada con 5 por ciento de úrea; mas no ocurrió así con el tratamiento con 2 por ciento de úrea más 3 por ciento de hidróxido de calcio; mientras que al utilizar este último tratamiento en la paja de avena el incremento de las digestibilidades fue mayor.
3. La digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro se incrementó al tratar las pajas de cebada y avena con 5 por ciento de úrea y 2 por ciento de úrea más 3 por ciento de hidróxido de calcio, sin presentar diferencias entre ambos tratamientos.
4. La producción de gas total presentó una tendencia a incrementar por efecto de los tratamientos en la paja de cebada, mientras que este parámetro fue mayor en el grupo control de la paja de avena; sin embargo la energía metabolizable muestra una tendencia a incrementar al tratar ambos residuos de cosecha con úrea y úrea-hidróxido de calcio.
5. Al caracterizar el perfil alimentario, se obtuvo que las pajas de cereales son el principal componente alimenticio del ganado en época seca, siendo su consumo promedio de 3.57 kgMS/animal/día, seguido por el heno de avena con un consumo promedio de 2.99 kgMS/animal/día.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el tratamiento de las pajas de cebada y avena con productos químicos que permitan incrementar su digestibilidad como una medida de adaptación del ganado bovino al cambio climático.
2. Realizar estudios de digestibilidad *in vitro* en residuos de cosecha utilizando fluido ruminal de animales con un periodo de acostumbramiento mínimo de una semana a dietas altamente fibrosas.
3. Realizar estudios similares de digestibilidad *in vitro* en residuos de cosecha incrementando las proporciones de hidróxido de calcio.
4. Realizar estudios similares para evaluar el efecto de la úrea e hidróxido de calcio en residuos de cosecha sin haber sido sometidos a un pretratamiento físico (picado).
5. Realizar estudios de determinación *in vitro* de ácidos grasos volátiles, metano y dióxido de carbono de residuos de cosecha tratados con productos químicos a través de la metodología de Menke.
6. Realizar estudios de digestibilidad *in vivo* posteriores a los estudios *in vitro* a fin de evaluar el rendimiento animal.
7. Determinar la relación costo/beneficio del tratamiento de las pajas de cebada y avena con úrea y una mezcla úrea-hidróxido de calcio.
8. Hacer el análisis económico del proceso de transferencia de la tecnología al productor ganadero de las comunidades alto andinas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS, I; OZPINAR, H; KUTAY, C Y KAHRAMAN, R. 2005. Determination of the metabolizable energy and net energy lactation contents of some feeds in the Marmara region by in vitro gas technique. Turk J Vet Anim Scie. 29: 751-757.

ANAYA, MA. 1984. Evaluación del comportamiento de 24 genotipos de cebada (*Hordeum vulgare*) bajo las condiciones ecológicas de Catac (Ancash). Tesis Ing. Agrónomo. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANKOM TECHNOLOGY. 2011. Neutral Detergent Fiber in feeds – Filter Bags Technique (for A200 and A200I). New York, US.

ANTONGIOVANNI, M Y SARGENTINI, C. 1991. Variability in chemical composition of straws. Eds. JL Tisserand; X Alibés. Zaragoza. CIHEAM. p 49-53.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists, US). 2005. Official Methods of Analysis. Eds. W Horwitz; G Latimer. 18 ed. Maryland, US.

AVALOS, G; CUBAS, F; ORIA, C; DÍAZ, A; QUISPE, N; ROSAS, G; CORNEJO, A; SOLÍS, O Y GUERRA, S. 2011. Atlas Climático de Precipitación y Temperatura del Aire en la Cuenca del Río Mantaro. 1 ed. Lima, PE. SENAMHI.

BARRENA, V; GRANELA, J; GARCÍA, H; FLORES, N; RUBÍN, E; OCAÑA, J Y GUILLEN, R. 2010. Análisis biomásico leñoso y de residuos para uso de combustible (en línea). Consultado 1 sept. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docre/>.

BEUVINK, JMW. 1993. Measuring and modeling *in vitro* gas production kinetics to evaluate ruminal fermentation of feedstuffs. Tesis Ph.D. Países Bajos. Wageningen University.

BERGNER, H Y GORSCH, R. 1974. Compuestos nitrogenados-no proteicos en la fabricación de gránulos de paja. España. Acribia.

BLUMMEL, M Y ØRSKOV, ER. 1993. Comparison of gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 40:109–119.

BONDI, A. 1989. Nutrición animal. España. Acribia. Cap. 5, 8 y 13.

BORHAMI, BEA; SUNDSTØL, F Y GARMO, TH. 1982. Studies on ammonia-treated straw. II. Fixation of ammonia in treated straw by spraying with acids. Anim. Feed Sci. Technol. 53-59.

BRAVO, C. 2004. Curso de introducción a la programación SAS v8. Universidad Complutense de Madrid. 74 p.

CAÑEQUE, V; VELASCO, S; SANCHA, JL; MANZANARES, C Y SOUZA, O. 1998. Effect of moisture and temperature on the degradability of fiber and on nitrogen fractions in barley straw treated with urea. Anim Feed Sci Tech. 74:241-258.

CARRO, MD; LOPEZ, S; GONZALEZ, JS Y OVEJERO, FJ. 1994. Comparison of laboratory methods for predicting digestibility of hay in sheep. Small Rumin. Res. 14:9-17.

CASTRILLO, C; FONDEVILA, M Y GUADA, J. 1995. Effect of ammonia treatment and carbohydrates supplementation on the intake and digestibility of barley Straw diets by sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 52:73-90.

CATRILEO, A. 2015. Uso de pajas de cereales en alimentación de vacunos. INIA Carillanca, CL.

CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, PE). 2015. Escenario de riesgos ante la temporada de lluvias 2015 – 2016 (en línea). Consultado el 10 mar del 2016. Disponible en <http://www.cenepred.gob.pe/web/>

download/dgp/ESCENARIO%20DE%20RIESGO%20TEMPORADA%20DE%20LLUVIAS%202015%20-2016.pdf/.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014. La Economía del Cambio Climático en el Perú. 1 ed.

CHANG, VS Y HOLTZAPPLE, MT. 2000. Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. *Appl. Biochem. Biotech.* 84:5–37.

CHAUDHRY, AS. 1998. Nutrient composition, digestion and rumen fermentation in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74:315-328.

CHÁVEZ, JD. 1981. Efecto del tratamiento de la paja de cebada con NaOH sobre su valor nutritivo y utilización con suplemento de nitrógeno no proteico en el engorde de ovinos. Tesis. Mag. Sc. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina.

CHENOST, M Y KAYOULI, C. 1997. Roughage Utilization in warm climates. FAO.

CHERMITI, A, TELLER, E; VANBELLE, M; COLLIGNON, G Y MATATU, B. 1994. Effect of ammonia or urea treatment of straw on chewing behavior and ruminal digestion processes in non-lactating dairy cows. *Anim Feed Sci Tech.* 47:41-51.

CHURCH, DC. 1974. Fisiología Digestiva y Nutrición de los Rumiantes. España. Acribia. v. 2.

CLOETE, SWP Y KRITZINGER, NM. 1984. A laboratory assesment of various treatment conditions affecting the ammoniation of wheat straw by urea. 1. The effect of temperature, moisture level and treatment period. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 14:55-58.

COOMBE, JB; DINIUS, DA Y WHEELER, WE. 1979. Effect of alkali treatment on intake and digestion of barley straw by beef steers. *J. Anim. Sci.* 49:169-177.

CRAM, DJ Y HAMOND. 1963. Química Orgánica. España. Mc Graw Hill.

DEVENDRA, C. 1987. Strategies for the Effective Utilization of Small Ruminants and Feed Resources in the Highlands of Asia. Kathmandu, NP. 33 p. Consultado 10 set. 2015. Disponible en <https://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/8141/1/75810.pdf>

DIAS-DA-SILVA, AA Y SUNDSTØL, F. 1986. Urea as a source of ammonia for improving the nutritive value of wheat straw. *Anim Feed Sci Tech.* 14:67-79.

DIXON, RM. 1985. Availability and characteristics of fibrous residues. *Fibrous Agricultural Residues Newsletter (FARN)*. 5(2).

ENGELHARDT, W; DELLOW, D Y HOELLER, H. 1985. The Potential of Ruminants for the Utilization of Fibrous Low Quality Diets. Symposium on Food from Unconventional Sources. *P Nutr Soc.* 44:37-43.

ESGPIP (Ethiopia Sheep and Goat Productivity Improvement Program). 2007. Urea-ammonia treatment of low quality roughages. Technical Bulletin N°2.

FADEL, AMA; SEKINE, J; HISHINUMA, M Y HAMANA, K. 2003. Effects of ammonia, urea plus calcium hydroxide and animal urine treatments on chemical composition and *in sacco* degradability of rice straw. *Asian Austral. J Anim. Sci.* 16(3):368-373.

FAHMY, ST Y ORSKOV, ER. 1984. Digestion and utilization of straw. Effect of different chemical treatment on degradability and digestibility of barley straw by sheep. *Anim Prod.* 38: 69-81.

FUENTES, J; MAGAÑA, C; SUÁREZ, L; PENA, R; RODRÍGUEZ, S Y ORTIZ DE LA ROSA, B. 2001. Análisis químico y digestibilidad *in vitro* de rastrojo de maíz. Nota técnica. p.190.

GANDHI, JP Y HOLTZAPPLE, MT. 1998. Calcium hydroxide treatment of millet straw to improve its rumen digestibility. *Anim Prod Aust.* 22:122-124.

GETACHEW, G; BLUMMEL, M; MAKKAR, HPS Y BECKER, K. 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Anim. Feed Sci. Technol. 72:261-281.

HADJIPANAYIOTOU, M. 1984. Effect of level and type of alkali on the digestibility *in vitro* of ensiled, chopped barley straw. Agric. Waste. 10:187-194.

HAZARD, S. 2015. Alimentación de vacas lecheras. INIA Carillanca, CL.

HEINRICHS, J Y KONONOFF, P. 2002. Evaluando el tamaño de partícula de forrajes y RTM usando el Nuevo Separador de Partículas de Forraje de Penn State. Penn State - College of Agricultural Sciences.

HOFFMAN, PC; LUNDBERG, KM; BAUMAN, LM Y SHAVER, R. 2007. Digestibilidad *in vitro* del FDN (fibra detergente neutro): El debate de 30 vs 48 horas. Focus on forage. University of Wisconsin. 5(16):1-4.

HORTON, GMJ. 1978. The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle. J Anim Sci. 58: 471-478.

HUFFMAN, J; KITTS, W Y KRISHNAHURTI, C. 1971. Effects alkali treatment and gamma irradiation on the chemical composition and *in vitro* rumen digestibility of certain species of wood. Can. J. Anim. Sci. 51: 457-464.

IBRAHIM, MNM; FERNANDO, DNS Y FERNANDO, SNFM. 1983. Evaluation of methods of urea-ammonia treatment application at village level. Australian-Asian Fibrous Agricultural Residues Research Network. University of Peradeniya, LK.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2012. Sitio web de información estadística del Perú (en línea). Consultado 25 set. 2014. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/>.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, FR). 1978. In Alimentation des Ruminants. Versailles, FR. p. 536-538.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, US). 2007. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, New York.

JACKSON, MG. 1977. La paja de arroz como alimento para el Ganado. Revista Mundial de Zootecnia, FAO. Roma. 23: 25-32.

JACKSON, MG. 1978. Tratamiento de la paja para alimentación animal. Revista Mundial de Zootecnia, FAO. Roma. 28: 38-44.

JAYASURIYA, M Y PEARCE, GR. 1983. The effect of urease enzyme on treatment time and the nutritive value of straw treated with ammonia as urea. Anim. Feed Sci. Technol. 8:271-281.

JAYASURIYA, M Y PERERA, HGD. 1982. Urea-ammonia treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants. Agr Wastes. 4:143-150.

JOY, M; ALIBÉS, X Y MUÑOZ, F. 1992. Chemical treatment of lignocellulosic residues with urea. Anim Feed Sci Tech. 38: 319-333.

KAFILZADEH, F; HEIDARY, N Y BAHRAMINEJAD, S. 2012. Variety effect on composition, kinetics of fermentation and *in vitro* digestibility of oat (*Avena sativa L.*) straw and its neutral detergent fiber. S Afr J Anim Sci. 42(4):406-415.

KALINOWSKY, JF. 1974. Effect of sodium hydroxide treatment and nitrogen supplementation of barley Straw upon intake, digestibility and live weight change in growing lambs. Thesis Mag. Sc. University of Reading.

KLOPFENSTEIN, T. 1978. Chemical Treatment of Crop Residues. J. Anim. Sci. 46(3): 841-848.

KLOPFENSTEIN, T. 1980. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatment. Anim. Scie. Dept. University.

LAWLOR, MJ Y O'SHEA, J. 1979. The effects of ammoniation on the intake and nutritive value of straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 4: 169-175.

LITTLE, DA. 1984. The dietary mineral requirements of ruminants; implications for the utilization of tropical fibrous agricultural residues. *Fib. Agr. Res. New.* 4(2).

MENKE, KH Y STEINGASS. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28:7-55.

MENKE, KH; RAAB, L; SALEWSKI, A; STEINGASS, H; FRITZ, D Y SCHNEIDER, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor. *J. Agric. Sci.* 93:217-222.

MINAG (Ministerio de Agricultura y Alimentación, PE). 1982 y 83. Boletines Estadísticos de la Producción Agrícola.

MINAG (Ministerio de Agricultura y Alimentación, PE). 2011. Producción Agrícola 2011 (en línea). Consultado 10 set. 2014. Disponible en <http://es.slideshare.net/hlarrea/minag-produccagricola/>.

MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2009. Cambio climático y desarrollo sostenible en el Perú. Proyecto Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

MIRA, JJF Y KAY, M. 1983. Treatment of barley straw with urea or ammonia for growing cattle. *Anim. Prod.* 36: 271-275.

MOE, PW Y TYRRELL, HF. 1975. Efficiency of conversion of digested energy to milk. *J Dairy Sci.* 58:602-610.

MORRISON, FB. 1980. Alimentación del Ganado. Zaragoza, ES. Acribia.

MOSIER, N; WYMAN, C; DALE, B; ELANDER, R; LEE, Y; HOLTZAPPLE, M Y LADISCH, M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technol.* 96:673-686.

NOLI, C. 1996. Cultivo, Manejo y Aprovechamiento de la Avena. Instituto Nacional de Investigación Agraria E.E. Santa Ana Huancayo, PE.

NURFETA, A; TOLERA, A; EIK, L Y SUNDSTOL, F. 2009. Effect of ensen (*Ensete ventricosum*) leaf supplementation on feed intake, digestibility, nitrogen utilization, and body weight gain of sheep fed untreated or urea and calcium oxide-treated wheat straw. *Livest Prod Sci.* 122:134-142.

OLIVEROS, BA; BRITTON, RA Y KLOPFENSTEIN, TJ. 1993. Ammonia and/or calcium hydroxide treatment of maize stover: intake, digestibility and digestion kinetics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 44:59-72.

ORSKOV, ER. 1993. Reality in Rural Development Aid with emphasis on Livestock. Rowett Research Services Ltd., Aberdeen, UK.

OWEN, E; KLOPFENSTEIN, T Y URIO, NA. 1984. Treatment with other chemicals. Chapter 7 from *Straw and Other Fibrous By-Products as feed*. Eds.F. Sundstøl; E. Owen. Amsterdam. Elsevier. p. 248-275.

OWEN, E; KLOPFENSTEIN, TJ; BRITTON, RA; RUMP, K Y MCDONNELL, ML. 1982. Treatment of wheat straw with different alkalies. *J Anim Sci.* 55(1):448.

PEDROX, MB. 1984. Ammoniation sometimes produces dangerous feed. University of New England. Australia.

PERÚ OPPORTUNITY FUND. 2011. Diagnóstico de la Agricultura en el Perú (en línea). Consultado 10 set. 2014. Disponible en http://www.peruopportunity.org/uploads/posts/34/Diagno_stico_de_la_Agricultura_en_el_Peru_-_web.pdf/.

PICCIONI, M. 1989. In Dizionario degli Alimenti per il Bestiame. Ed. Agricole. Bologna. p. 648-664.

PIGDEN, W Y BENDER, F. 1978. Utilization of Lignocellulose by Ruminats. Ruminant Nutrition: Selected articles from the World Animal Review. FAO Corporate Document Repository. Roma.

PRADHAN, R; TOBIOKA, H Y TASAKI, I. 1997. Effect of moisture content and different levels of additives on chemical composition and *in vitro* dry matter digestibility of rice straw. Anim. Feed Sci. Technol. 68:273-284.

PRESTON, T Y LENG, R. 1990. Adecuando los Sistemas de Producción Pecuaria a los Recursos Disponibles: Aspectos Básicos y Aplicados del Nuevo Enfoque sobre la Nutrición de Rumiantes en el Trópico. Colombia. Círculo Impresores. Cap. 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 11.

RANJHAN, SK. 1978. Subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes en la India. Revista Mundial de Zootecnia. FAO. Roma. 28: 31-37.

RODRÍGUEZ, A. 2001. Estudio de caracteres fenológicos, agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada. Tesis Dr. Madrid, ES. Universidad Complutense de Madrid.

SAADULAH, M; HAQUE, M. Y DOLBERG, F. 1981. Treatment of rice straw with lime. Trop Anim Health Prod. 6:116-120.

SIROHI, SK Y RAI, SN. 1999. Synergistic effect of urea and lime treatment of wheat straw on chemical composition, *in sacco* and *in vitro* digestibility. Asian-Australian J. Anim. Sci. 12:1049–1053.

SMITH, T. 2002. On-farm Treatment of Straws and Stovers with urea. University of Reading. UK.

SMITH, T; CHAKANYUKA, C; SIBANDA, S Y MANYUCHI, B. 1988. Maize stover as a feed for ruminants. Overcoming constraints to the Efficient Utilization of Agricultural By-products as Animal Feed. Proceedings of the Fourth Annual Workshop held at the Institute of Animal Research. Bamenda, CM.

SOSA, J; CORTÉS, I Y BELTRÁN, JL. 2005. Alternativas nutricionales para época seca. Proyecto especial para la seguridad alimentaria. FAO.

STIEFEL, J; BABU, YK; BUTCHAIHAH, V Y REDDY, NG. 1991. Indo-Swiss Project, Andhra Pradesh (ISPA). Visakhapatnam, IN.

SUNDSTØL, F. 1985. Recent advances in development and utilization of chemically treated low quality roughages. In Relevance of Crop Residues as Animal Feeds in Developing Countries. Eds. M Wanapat; C Devendra. Bangkok, TH. p. 121-145.

SUNDSTØL, F Y COXWORTH, EM. 1984. Ammonia treatment. Chapter 7 from Straw and Other Fibrous By-Products as feed. Eds. F Sundstol; E Owen. Amsterdam. Elsevier. p. 196-247.

SUNDSTØL, F; COXWORTH, E. Y NOWAT, ON. 1978. Mejora del valor nutritivo de la paja mediante tratamiento con amoníaco. Revista Mundial de Zootecnia. FAO. Roma. 26:13-21.

THEANDER, O Y AMAN, P. 1984. Anatomical and chemical characteristics. In Straw and other Fibrous By-Products as Feed. Eds. F Sundstøl; E Owen. Amsterdam. Elsevier. p. 45-78.

TILLEY, J Y TERRY, RA. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. 18:104-111.

TINGSHUANG, G; SÁNCHEZ, M; PEIYU, G; JIANXIN, L; QINGXIANG, M; CUNGEN, Z; ZHENHAI, Y; ZHISHAN, Z; LUJIA, H; JUN, G Y QIAOJUAN, Y. 2002. Animal Production Based on Crop Residues – Chinese Experiences. Animal Production and Health Paper. FAO. Roma.

TRACH, NX. 2000. Treatment and supplementation of rice straw for ruminant feeding in Vietnam. Thesis Doctor Scinetarium. Noruega. Agricultural University of Norway. 174 p.

VAN SOEST, PJ. 1966. Nonnutritive residues: A system of Analysis for the replacement of crude fiber. J. Assoc. Off. Ana. Chem. 49:546-551.

VAN SOEST, PJ. 1982. Nutrition Ecology of the Ruminant. O & B Book Inc. US.

VAN SOEST, PJ. 1985. Definition of fiber in animal feeds. In. Recent Advances in Animal Nutrition. Cornell University. US.

VAN SOEST, PJ; WINE, RH Y MOORE, LA. 1966. Estimation of the true digestibility of forages by *in vitro* digestion of cell walls. Proc. 10th Internat'l Grassl. Congress. Reporte completo en: Análisis de fibra de forrajes (Aparatos, Reactivos, procedimientos y algunas aplicaciones). 1972. Boletín N°10. Programa de forrajes, UNA – La Molina.

VÁSQUEZ, E. 1985. Interacción entre la densidad de siembra y tres niveles de abonamiento de cebada (*Hordeum vulgare*). Tesis Ing. Agrónomo. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina.

VEERASAMY, S; GAUGHAN, JB; RAGHAVENDRA, B Y NAQVI, SMK. 2016. Impact of climate change on livestock productivity. Broadening Horizons.

VIESTRUS, VE; APISTER, AF; LANKEVICS, JJ; OSE, VP Y BEKERS, MJ. 1981. Solid state fermentation of wheat straw *Chaetomiun cellulolyticum* and *Trichoderma lignorum*. In Biotechnology and Bioengineering Symp. Dairy Science Abstracts. 11: 359-369.

WALLI, T. 2010. Biological Treatment of Straws. In Successes and Failures with Animal Nutrition Practices and Technologies in Developing Countries. FAO Roma. p. 57-60.

WANAPAT, M Y CHERDTHONG, A. 2009. Use of real-time PCR technique in studying rumen cellulolytic bacteria population as affected by level of roughage in swamp buffaloes. Curr. Microbiol. 58:294–299.

WANAPAT, M; CHENOST, M; MUNOZ, F Y KAYOULI, C. 1996. Methods for improving the nutritive value of fibrous feed: treatment and supplementation. *Ann Zootech.* 45:89-103.

WANAPAT, M; KANG, S; HANKLA, N Y PHESATCHA, K. 2013. Effect of rice straw treatment on feed intake, rumen fermentation and milk production in lactating dairy cows. *Afr J Agr Res.* 8(17):1677-1687.

WANAPAT, M; POLYORACH, S; BOONNOP, K; MAPATO, C Y CHERDTHONG, A. 2009. Effect of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livest Prod Sci.* 125:238-243.

WILLIAMS, PE; INNES, GM Y BREWER, A. 1984. Ammonia treatment of straw via the hidrolisis of urea. I.Effects of dry matter and urea concentrations on the rate of hydrolisis of urea. *Anim. Feed Sci. Technol.* 11:103-115.

WILLIAMS, PE; MAC DEARMID, A; INNES, GM AND BREWER, A. 1983. Turnips with chemically treated straw for beef production. *Anim. Prod.* 37: 189-194.

WOLIN, M.J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* 43:1452–1459.

XUAN TRACH, N; XUAN DAN, C; VIET LY, L Y SUNDSTØL, F. 1998. Effects of urea concentration, moisture content, and duration of treatment on chemical composition of alkali treated rice straw. *Livest Res Rural Dev.* 10(1).

ZAMAN, MS Y OWEN, E. 1995. The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility *in vitro*. *Anim Feed Sci Tech.* 51:165-171.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cambios relativos de la precipitación (%) en la cuenca del río Mantaro, para la década 2001-2010 respecto al periodo de referencia 1971-2000.

Estación	Lon	Lat	Alt	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Acobamba	74.57	12.84	3236	+7	+13	-7	-14	+3
Acostambo	75.06	12.36	3650	-1	-3	6	+3	0
Carhuacayan	76.30	11.20	4150	+5	+17	+9	+11	+10
Chilicocha	75.40	12.68	4275	+20	+9	-23	+46	+20
Churcampa	74.38	12.73	2780	-20	+12	+16	-10	-8
Huancalpi	75.24	12.58	3800	-11	-9	-41	-17	-15
Huancavelica	75.03	12.76	3860	+25	+28	+50	+6	+23
Huapa	74.72	12.93	3600	+4	+9	+7	-10	+2
Huayao	75.32	12.04	3308	-15	-16	-12	+1	-11
Huaytapallana	75.04	11.95	4510	-12	-10	+36	+2	-6
Hueghe	76.28	11.24	4175	-5	-11	-19	+9	-4
Ingenio	75.26	11.88	3450	-12	0	-37	-8	-9
Jauja	75.47	11.78	3322	-16	+11	-11	-8	-8
Kichuas	74.76	12.46	2650	-7	+11	+8	-2	-1
La Quinua	74.14	13.06	3260	-4	+8	0	+10	+2
Lircay	74.72	12.98	3150	+7	-2	-15	-9	0
Mantaro	75.40	11.83	3300	-10	+6	-41	-9	-6
Marcapomacocha	76.33	11.40	4413	-27	-15	-8	+1	-17
Pachacayo	75.72	11.81	3550	-12	-2	+4	-4	-7
Pilchaca	75.08	12.35	3570	-2	-10	+3	+6	-2
San Juan de Jarpa	75.43	12.12	3726	-19	-18	-37	-14	-18
San Pedro de Cachi	74.39	13.08	3188	+21	+5	-7	-13	+9
Upamayo	76.28	10.92	4080	-7	-2	-12	-3	-5
Villena	74.68	12.51	2550	-8	-1	+24	+7	-2
Vilques	75.23	12.16	3186	-6	+15	+17	+27	+7
Yauricocha	75.91	11.96	4375	-10	+14	-21	+24	+3
<p>Nota: Lon: longitud (grados); Lat: latitud (grados); Alt: altitud (msnm); Anomalía negativa: disminución; Anomalía positiva: incremento</p>								

Fuente: Avalos *et al.* (2011)

Anexo 2. Composición química (%) en base seca de las pajas de cebada y avena

Denominación	Paja de cebada					Paja de avena				
	MS	MO	CZ	PT	FDN	MS	MO	CZ	PT	FDN
C1Li	93.90	92.86	7.14	4.56	73.05	92.72	95.02	4.98	3.65	63.67
C1Lii	94.08	91.91	8.09	4.35	69.63	92.73	94.96	5.04	3.88	63.89
C1Ui	92.86	91.29	8.71	16.32	69.36	91.86	95.05	4.95	16.10	62.91
C1Uii	92.75	92.49	7.51	16.48	71.52	92.14	95.40	4.60	15.26	65.12
C1Hi	93.52	91.06	8.94	6.88	71.48	93.65	93.30	6.70	7.54	67.10
C1Hii	93.98	90.70	9.30	6.75	70.96	92.87	92.79	7.21	7.06	64.18
C2Li	94.11	92.78	7.22	3.72	67.84	92.45	94.61	5.39	4.60	59.56
C2Lii	93.29	93.03	6.97	3.89	65.17	93.18	94.85	5.15	4.36	57.42
C2Ui	93.27	94.18	5.82	14.58	66.51	92.65	95.09	4.91	16.70	63.01
C2Uii	92.12	94.67	5.33	15.78	64.67	92.17	94.48	5.52	16.58	68.60
C2Hi	93.26	90.84	9.16	7.98	66.94	93.73	92.86	7.14	7.34	62.74
C2Hii	93.08	90.11	9.89	5.31	66.10	91.86	92.90	7.10	7.59	60.66
S3Li	92.43	91.67	8.33	7.64	66.38	93.66	91.19	8.81	3.67	60.50
S3Lii	92.85	91.95	8.05	5.42	64.37	91.87	95.12	4.88	3.16	63.58
S3Ui	91.84	94.34	5.66	19.60	63.28	91.34	94.31	5.69	14.20	62.94
S3Uii	92.59	94.28	5.72	18.03	62.14	91.96	93.88	6.12	13.56	63.97
S3Hi	93.11	90.56	9.44	8.32	66.63	91.95	91.43	8.57	7.58	61.28
S3Hii	92.41	91.07	8.93	8.27	62.94	92.56	91.88	8.12	7.50	63.03
S4Li	93.28	94.51	5.49	5.09	69.05	92.89	95.41	4.59	3.03	62.30
S4Lii	93.09	94.63	5.37	5.61	65.44	92.45	95.44	4.56	3.04	64.09
S4Ui	91.81	93.82	6.18	17.47	70.96	91.78	94.87	5.13	13.18	60.71
S4Uii	90.63	94.28	5.72	23.28	68.50	91.33	95.26	4.74	17.04	58.73
S4Hi	92.90	92.44	7.56	8.24	73.58	92.70	92.96	7.04	8.57	65.16
S4Hii	92.05	92.78	7.22	8.42	73.27	92.90	92.98	7.02	8.34	61.21

MS: materia seca; MO: materia orgánica; CZ: ceniza; PT: proteína; FDN: fibra detergente neutro; C: Chahuas; S: Sallahuachac; 1, 2, 3, 4: ganaderos; L: control; U: 5% úrea; H: 2% úrea + 3% hidróxido de calcio; i, ii: número de muestra.

Anexo 3. Digestibilidad *in vitro* (%) de las pajas de cebada y avena

Denominación	Paja de cebada			Paja de avena		
	DIVMS	DIVMO	DIVFDN	DIVMS	DIVMO	DIVFDN
C1Li	60.13	60.51	42.21	62.37	61.42	36.59
C1Lii	62.40	61.13	42.92	62.55	61.50	37.11
C1Ui	67.20	66.76	49.45	71.39	71.00	50.87
C1Uii	71.28	71.51	57.04	63.59	62.75	39.77
C1Hi	66.00	64.40	49.46	68.60	66.98	50.35
C1Hii	66.78	68.39	50.51	69.03	68.17	48.35
C2Li	60.31	59.82	38.22	68.81	67.97	43.70
C2Lii	67.42	67.45	46.75	68.47	67.65	41.41
C2Ui	67.94	67.39	48.77	65.57	65.08	41.43
C2Uii	71.92	71.94	53.26	70.96	71.49	54.40
C2Hi	67.90	67.01	48.95	70.56	69.50	50.24
C2Hii	60.33	60.11	35.93	72.58	71.22	51.15
S3Li	62.71	60.19	39.56	65.83	63.82	40.05
S3Lii	53.53	51.35	22.66	64.34	63.65	39.33
S3Ui	70.42	70.09	49.54	66.49	65.51	42.14
S3Uii	72.27	72.14	52.19	65.50	64.63	41.76
S3Hi	66.18	64.58	45.84	68.67	67.02	44.79
S3Hii	60.98	61.49	51.18	66.29	64.11	42.63
S4Li	56.18	56.71	32.35	70.06	66.38	48.63
S4Lii	54.05	52.79	24.94	66.44	66.26	43.66
S4Ui	59.70	60.51	38.50	74.59	73.76	54.78
S4Uii	64.90	64.21	43.87	69.85	69.39	58.38
S4Hi	60.77	59.99	42.95	75.58	74.79	59.91
S4Hii	56.11	53.81	35.26	65.32	63.24	39.42

DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFDN: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; C: Chalhuas; S: Sallahuachac; 1, 2, 3, 4: ganaderos; L: control; U: 5% úrea; H: 2% úrea + 3% hidróxido de calcio; i, ii: número de muestra.

Anexo 4. Producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica en las pajas de cebada y avena

Denominación	Paja de cebada			Paja de avena		
	PG	EM	DMO	PG	EM	DMO
C1Li	32.4447	7.1696	50.4148	34.9121	7.3229	50.7963
C1Lii	29.5422	6.7628	48.3634	36.9166	7.6087	52.7207
C1Ui	30.5719	7.5850	55.0618	32.8234	7.8004	54.5189
C1Uii	31.1633	7.6742	54.8792	32.7891	7.6961	53.8831
C1Hi	34.5132	7.5830	54.4705	35.7175	7.7066	54.3853
C1Hii	33.9512	7.4992	54.1473	35.9086	7.6533	54.6712
C2Li	33.8000	7.3058	51.2923	39.4083	7.9886	55.4841
C2Lii	34.2768	7.3801	51.6328	38.3574	7.8320	54.2885
C2Ui	32.5115	7.7493	54.1224	32.5627	7.7474	54.5312
C2Uii	33.1869	7.9098	54.9484	32.6406	7.7515	54.9503
C2Hi	32.5357	7.3766	53.3474	36.3147	7.7240	55.1043
C2Hii	31.9246	7.1412	52.0770	38.7271	8.0665	57.3371
S3Li	26.7296	6.5679	47.4938	35.9944	7.4716	54.2611
S3Lii	29.9815	6.8836	49.2038	37.7740	7.6846	53.0573
S3Ui	35.3651	8.4238	58.8203	33.6483	7.7526	54.8805
S3Uii	34.3953	8.2022	57.2897	37.8751	8.3559	58.6322
S3Hi	32.3888	7.3763	53.5559	36.7627	7.8768	56.5436
S3Hii	33.5692	7.5753	54.5754	35.3200	7.6629	54.9347
S4Li	29.0378	6.7363	46.5520	44.6546	8.7424	58.9201
S4Lii	28.7386	6.7251	46.4394	43.5761	8.5966	57.9506
S4Ui	30.7762	7.6781	54.1181	40.7603	8.7916	60.3823
S4Uii	25.8564	7.3402	52.0593	39.8102	8.8826	61.0187
S4Hi	26.8757	6.6217	47.3958	42.4841	8.7630	61.0814
S4Hii	28.9170	6.9096	49.0719	38.8094	8.2506	57.7012

PG: producción de gas (ml/200 mg MS); EM: energía metabolizable (MJ/ kg MS); DMO: digestibilidad de la materia orgánica (%); C: Chalhuanas; S: Sallahuachac; 1, 2, 3, 4: ganaderos; L: control; U: 5% úrea; H: 2% úrea + 3% hidróxido de calcio; i, ii: número de muestra.

Anexo 7. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la ceniza (CZ)

ceniza de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	48.33091250	4.39371932	26.42	<.0001
Error	12	1.99565000	0.16630417		
Corrected Total	23	50.32656250			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.960346	5.506215	0.407804	7.406250

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	4.51533750	4.51533750	27.15	0.0002
gan(com)	2	8.48984167	4.24492083	25.53	<.0001
trt	2	25.73552500	12.86776250	77.37	<.0001
com*trt	2	0.31217500	0.15608750	0.94	0.4181
gan*trt(com)	4	9.27803333	2.31950833	13.95	0.0002

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	4.51533750	4.51533750	1.95	0.2354
gan(com)	2	8.48984167	4.24492083	1.83	0.2727
trt	2	25.73552500	12.86776250	5.55	0.0702
com*trt	2	0.31217500	0.15608750	0.07	0.9360

ceniza de cebada

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	2.319508

Number of Means	2	3
Critical Range	2.114	2.161

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trt
A	8.8050	8	h
B	7.0825	8	l
B	6.3313	8	u

ceniza de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	32.48813333	2.95346667	4.22	0.0100
Error	12	8.40160000	0.70013333		
Corrected Total	23	40.88973333			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.794530	13.94954	0.836740	5.998333

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	1.80401667	1.80401667	2.58	0.1344
gan(com)	2	7.16541667	3.58270833	5.12	0.0247
trt	2	22.52063333	11.26031667	16.08	0.0004
com*trt	2	0.05203333	0.02601667	0.04	0.9636
gan*trt(com)	4	0.94603333	0.23650833	0.34	0.8473

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	1.80401667	1.80401667	7.63	0.0508
gan(com)	2	7.16541667	3.58270833	15.15	0.0136
trt	2	22.52063333	11.26031667	47.61	0.0016
com*trt	2	0.05203333	0.02601667	0.11	0.8984

ceniza de avena

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	0.236508
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	0.6751

Means with the same letter are not significantly different.

t

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	7.3625	8	h
B	5.4250	8	l
B	5.2075	8	u

Anexo 8. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la proteína (PT)

proteina de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	765.8787458	69.6253405	33.33	<.0001
Error	12	25.0695500	2.0891292		
Corrected Total	23	790.9482958			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.968304	14.33496	1.445382	10.08292

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	34.5360042	34.5360042	16.53	0.0016
gan(com)	2	1.4446083	0.7223042	0.35	0.7145
trt	2	719.5948583	359.7974292	172.22	<.0001
com*trt	2	5.9808583	2.9904292	1.43	0.2770
gan*trt(com)	4	4.3224167	1.0806042	0.52	0.7248

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	34.5360042	34.5360042	31.96	0.0048
gan(com)	2	1.4446083	0.7223042	0.67	0.5618
trt	2	719.5948583	359.7974292	332.96	<.0001
com*trt	2	5.9808583	2.9904292	2.77	0.1760

proteina de cebada

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	1.080604
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	1.4431

Means with the same letter are not significantly different.

t	Mean	N	trt
G			
r			
o			
u			
p			
i			
n			
g			
A	17.6925	8	u
B	7.5213	8	h
C	5.0350	8	l

Anexo 9. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la fibra detergente neutro (FDN)

fibra detergente neutro de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	231.6240458	21.0567314	7.66	0.0007
Error	12	32.9940500	2.7495042		
Corrected Total	23	264.6180958			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.875314	2.441811	1.658163	67.90708

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	11.6065042	11.6065042	4.22	0.0624
gan(com)	2	171.4097083	85.7048542	31.17	<.0001
trt	2	15.0026083	7.5013042	2.73	0.1055
com*trt	2	8.5983083	4.2991542	1.56	0.2492
gan*trt(com)	4	25.0069167	6.2517292	2.27	0.1215

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	11.6065042	11.6065042	1.86	0.2447
gan(com)	2	171.4097083	85.7048542	13.71	0.0162
trt	2	15.0026083	7.5013042	1.20	0.3907
com*trt	2	8.5983083	4.2991542	0.69	0.5537

fibra detergente neutro de cebada

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	6.251729

Number of Means	2	3
Critical Range	3.471	3.547

Means with the same letter are not significantly different.

D
u
n
c
a
n

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	68.988	8	h
A	67.616	8	l
A	67.118	8	u

fibra detergente neutro de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	101.0339000	9.1849000	2.45	0.0694
Error	12	44.9749000	3.7479083		
Corrected Total	23	146.0088000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.691971	3.084444	1.935952	62.76500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	5.37706667	5.37706667	1.43	0.2541
gan(com)	2	19.25203333	9.62601667	2.57	0.1179
trt	2	9.50332500	4.75166250	1.27	0.3166
com*trt	2	23.09655833	11.54827917	3.08	0.0832
gan*trt(com)	4	43.80491667	10.95122917	2.92	0.0669

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	5.37706667	5.37706667	0.49	0.5221
gan(com)	2	19.25203333	9.62601667	0.88	0.4826
trt	2	9.50332500	4.75166250	0.43	0.6752
com*trt	2	23.09655833	11.54827917	1.05	0.4287

fibra detergente neutro de avena

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	10.95123

Number of Means	2	3
Critical Range	4.594	4.695

Means with the same letter are not significantly different.

D
u
n
c
a
n

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	63.249	8	u
A	63.170	8	h
A	61.876	8	l

Anexo 10. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

digestibilidad in vitro de materia seca de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	551.5113458	50.1373951	3.83	0.0146
Error	12	157.0662500	13.0888542		
Corrected Total	23	708.5775958			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.778336	5.684685	3.617852	63.64208

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	111.8448375	111.8448375	8.55	0.0128
gan(com)	2	98.8421083	49.4210542	3.78	0.0535
trt	2	299.8320333	149.9160167	11.45	0.0017
com*trt	2	10.1611000	5.0805500	0.39	0.6865
gan*trt(com)	4	30.8312667	7.7078167	0.59	0.6771

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	111.8448375	111.8448375	14.51	0.0190
gan(com)	2	98.8421083	49.4210542	6.41	0.0565
trt	2	299.8320333	149.9160167	19.45	0.0087
com*trt	2	10.1611000	5.0805500	0.66	0.5657

digestibilidad in vitro de materia seca de cebada

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	7.707817
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	3.8541

Means with the same letter are not significantly different.

t

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	68.204	8	u
B	63.131	8	h
B	59.591	8	l

Anexo 11. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO)

digestibilidad in vitro de materia organica de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	645.5137000	58.6830636	4.34	0.0089
Error	12	162.2707000	13.5225583		
Corrected Total	23	807.7844000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.799116	5.828201	3.677303	63.09500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	142.8864000	142.8864000	10.57	0.0069
gan(com)	2	84.4627333	42.2313667	3.12	0.0809
trt	2	352.4725750	176.2362875	13.03	0.0010
com*trt	2	18.5837250	9.2918625	0.69	0.5218
gan*trt(com)	4	47.1082667	11.7770667	0.87	0.5092

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	142.8864000	142.8864000	12.13	0.0253
gan(com)	2	84.4627333	42.2313667	3.59	0.1282
trt	2	352.4725750	176.2362875	14.96	0.0139
com*trt	2	18.5837250	9.2918625	0.79	0.5142

digestibilidad in vitro de materia organica de cebada

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	11.77707
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	4.7641

Means with the same letter are not significantly different.

t

G

r

o

u

p

i

n

g

	Mean	N	trt
A	68.069	8	u
B	62.473	8	h
B	58.744	8	l

digestibilidad in vitro de materia organica de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	173.0437458	15.7312496	1.37	0.2975
Error	12	137.7095500	11.4757958		
Corrected Total	23	310.7532958			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.556852	5.058345	3.387594	66.97042

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	0.19620417	0.19620417	0.02	0.8981
gan(com)	2	89.48287500	44.74143750	3.90	0.0496
trt	2	55.03843333	27.51921667	2.40	0.1330
com*trt	2	6.84253333	3.42126667	0.30	0.7475
gan*trt(com)	4	21.48370000	5.37092500	0.47	0.7583

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	0.19620417	0.19620417	0.04	0.8577
gan(com)	2	89.48287500	44.74143750	8.33	0.0375
trt	2	55.03843333	27.51921667	5.12	0.0788
com*trt	2	6.84253333	3.42126667	0.64	0.5752

digestibilidad in vitro de materia organica de avena

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	5.370925

Number of Means	2	3
Critical Range	3.217	3.288

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trt
A	68.129	8	h
B	67.951	8	u
B	64.831	8	l

Anexo 12. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN)

digestibilidad in vitro de fibra detergente neutro de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	1349.331446	122.666495	3.75	0.0159
Error	12	392.842650	32.736888		
Corrected Total	23	1742.174096			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.774510	13.17447	5.721616	43.42958

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	298.4265375	298.4265375	9.12	0.0107
gan(com)	2	187.1745083	93.5872542	2.86	0.0965
trt	2	693.1638583	346.5819292	10.59	0.0022
com*trt	2	107.6020750	53.8010375	1.64	0.2340
gan*trt(com)	4	62.9644667	15.7411167	0.48	0.7495

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	298.4265375	298.4265375	18.96	0.0121
gan(com)	2	187.1745083	93.5872542	5.95	0.0634
trt	2	693.1638583	346.5819292	22.02	0.0069
com*trt	2	107.6020750	53.8010375	3.42	0.1363

digestibilidad in vitro de fibra detergente neutro de cebada

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	15.74112
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	5.5078

Means with the same letter are not significantly different.

g	Mean	N	trt
A	49.078	8	u
A	45.010	8	h
B	36.201	8	l

digestibilidad in vitro de fibra detergente neutro de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	639.262613	58.114783	1.82	0.1582
Error	12	382.301450	31.858454		
Corrected Total	23	1021.564063			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.625769	12.30539	5.644329	45.86875

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	4.2588375	4.2588375	0.13	0.7210
gan(com)	2	274.7292083	137.3646042	4.31	0.0388
trt	2	250.0711750	125.0355875	3.92	0.0488
com*trt	2	52.6765750	26.3382875	0.83	0.4609
gan*trt(com)	4	57.5268167	14.3817042	0.45	0.7697

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	4.2588375	4.2588375	0.30	0.6152
gan(com)	2	274.7292083	137.3646042	9.55	0.0300
trt	2	250.0711750	125.0355875	8.69	0.0350
com*trt	2	52.6765750	26.3382875	1.83	0.2725

digestibilidad in vitro de fibra detergente neutro de avena

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	14.3817
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	5.2646

Means with the same letter are not significantly different.

t

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	48.355	8	h
A	47.941	8	u
B	41.310	8	l

Anexo 13. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la producción de gas (PG)

produccion de gas de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	140.3639237	12.7603567	5.94	0.0023
Error	12	25.7583095	2.1465258		
Corrected Total	23	166.1222332			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.844944	4.669320	1.465103	31.37722

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	32.18035686	32.18035686	14.99	0.0022
gan(com)	2	44.22212449	22.11106224	10.30	0.0025
trt	2	7.88553884	3.94276942	1.84	0.2014
com*trt	2	13.88953449	6.94476725	3.24	0.0752
gan*trt(com)	4	42.18636903	10.54659226	4.91	0.0140

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	32.18035686	32.18035686	3.05	0.1556
gan(com)	2	44.22212449	22.11106224	2.10	0.2384
trt	2	7.88553884	3.94276942	0.37	0.7098
com*trt	2	13.88953449	6.94476725	0.66	0.5660

produccion de gas de cebada

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	10.54659

Number of Means	2	3
Critical Range	4.508	4.607

Means with the same letter are not significantly different.

D
u
n
c
a
n

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
Á	31.834	8	h
Â	31.728	8	u
Ã	30.569	8	l

produccion de gas de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	239.2591374	21.7508307	10.51	0.0001
Error	12	24.8346595	2.0695550		
Corrected Total	23	264.0937968			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.905963	3.859637	1.438595	37.27280

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	67.97670663	67.97670663	32.85	<.0001
gan(com)	2	95.88314002	47.94157001	23.17	<.0001
trt	2	52.07236192	26.03618096	12.58	0.0011
com*trt	2	13.47771969	6.73885984	3.26	0.0742
gan*trt(com)	4	9.84920909	2.46230227	1.19	0.3644

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	67.97670663	67.97670663	27.61	0.0063
gan(com)	2	95.88314002	47.94157001	19.47	0.0087
trt	2	52.07236192	26.03618096	10.57	0.0253
com*trt	2	13.47771969	6.73885984	2.74	0.1783

produccion de gas de avena

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	2.462302
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	2.1784

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	trt
A	38.9492	8	l
A			
B A	37.5055	8	h
B			
B	35.3637	8	u

Anexo 14. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la energía metabolizable (EM)

energia metabolizable de cebada

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	5.16496990	0.46954272	17.26	<.0001
Error	12	0.32636077	0.02719673		
Corrected Total	23	5.49133067			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.940568	2.246576	0.164914	7.340696

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	0.18313801	0.18313801	6.73	0.0234
gan(com)	2	0.78798738	0.39399369	14.49	0.0006
trt	2	3.16747796	1.58373898	58.23	<.0001
com*trt	2	0.40228419	0.20114209	7.40	0.0081
gan*trt(com)	4	0.62408237	0.15602059	5.74	0.0081

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	0.18313801	0.18313801	1.17	0.3396
gan(com)	2	0.78798738	0.39399369	2.53	0.1953
trt	2	3.16747796	1.58373898	10.15	0.0271
com*trt	2	0.40228419	0.20114209	1.29	0.3697

energia metabolizable de cebada

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	0.156021
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	0.5483

Means with the same letter are not significantly different.

t

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	7.8203	8	u
B	7.2604	8	h
B	6.9414	8	l

energia metabolizable de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	4.34234098	0.39475827	9.62	0.0002
Error	12	0.49221657	0.04101805		
Corrected Total	23	4.83455755			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.898188	2.535190	0.202529	7.988717

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	1.46678593	1.46678593	35.76	<.0001
gan(com)	2	2.41842881	1.20921441	29.48	<.0001
trt	2	0.15439948	0.07719974	1.88	0.1946
com*trt	2	0.13011641	0.06505821	1.59	0.2448
gan*trt(com)	4	0.17261035	0.04315259	1.05	0.4213

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	1.46678593	1.46678593	33.99	0.0043
gan(com)	2	2.41842881	1.20921441	28.02	0.0044
trt	2	0.15439948	0.07719974	1.79	0.2786
com*trt	2	0.13011641	0.06505821	1.51	0.3251

energia metabolizable de avena

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	0.043153

Number of Means	2	3
Critical Range	.2884	.2947

Means with the same letter are not significantly different.

D
u
n
c
a
n

G
r
o
u
p
i
n
g

	Mean	N	trt
A	8.0973	8	u
A	7.9630	8	h
A	7.9059	8	l

digestibilidad de materia organica de avena

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	143.6660991	13.0605545	7.52	0.0008
Error	12	20.8317148	1.7359762		
Corrected Total	23	164.4978139			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.873362	2.356239	1.317565	55.91811

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	56.09809305	56.09809305	32.32	0.0001
gan(com)	2	60.60237300	30.30118650	17.45	0.0003
trt	2	18.31899887	9.15949943	5.28	0.0227
com*trt	2	4.60402961	2.30201480	1.33	0.3018
gan*trt(com)	4	4.04260457	1.01065114	0.58	0.6815

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for gan*trt(com) as an Error Term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
com	1	56.09809305	56.09809305	55.51	0.0017
gan(com)	2	60.60237300	30.30118650	29.98	0.0039
trt	2	18.31899887	9.15949943	9.06	0.0327
com*trt	2	4.60402961	2.30201480	2.28	0.2186

digestibilidad de materia organica de avena

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for vr

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	1.010651
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	1.3956

Means with the same letter are not significantly different.

g	Mean	N	trt
A	56.5997	8	u
A	56.4699	8	h
B	54.6848	8	l

Anexo 16. Modelo de encuesta para caracterizar el perfil alimentario en las comunidades de estudio

Encuesta

Fecha:

Nombre del propietario:

Comunidad campesina:

I. Componente tierras

	Total tierras (ha)
a) Ganadería	
Pasto natural	
Pasto cultivado	
Heno de avena	
b) Agricultura	
Cereal cebada	
Cereal avena	
Otros	

II. Componente animal

Categoría	Total
Vacas producción	
Vacas secas	
Recría	
Machos	

III. Componente alimentación

	Alimentación (kg/animal/día)			
	Vacas producción	Vacas secas	Recría	Machos
Pasto cultivado				
Paja de cereales				
Heno de avena				

IV. Componente producción

- Producción leche (lts/vaca/día)
- Precio (S/.)
- Destino

Anexo 17. Perfil alimentario del ganado lechero en las comunidades de Chalhuanac y Sallahuachac

Producción de leche (lts) por vaca en cada comunidad de estudio

Mes	Chalhuanac	Sallahuachac	Promedio
Setiembre	2.57	2.93	2.75
Noviembre	3.29	3.71	3.50
Enero	7.79	8.36	8.08
Marzo	8.93	9.07	9.00
Mayo	5.57	5.00	5.29
Julio	5.14	4.21	4.68

Consumo de materia seca (kg) durante los meses de evaluación

Mes	Lts leche	Kg leche	FCL (kg)*	CMS (kg)**
Setiembre	2.75	2.83	2.92	7.92
Noviembre	3.50	3.61	3.71	8.16
Enero	8.08	8.32	8.57	9.64
Marzo	9.00	9.27	9.55	9.94
Mayo	5.29	5.44	5.61	8.74
Julio	4.68	4.82	4.96	8.54

* FCL: Leche corregida al 4% grasa (kg) = $0.4 * \text{kg leche} + 15 * 4.2 / 100 * \text{kg leche}$

** Consumo materia seca (kg) = $0.0185 * \text{peso vivo (kg)} + 0.305 * \text{FCL (kg)}$

Peso vivo promedio = 380 kg

Alimentación promedio (kg/animal/día) en vacas de producción

Mes	Setiembre		Noviembre		Enero		Marzo		Mayo		Julio	
	Fresco	B. Seca	Fresco	B. Seca	Fresco	B. Seca	Fresco	B. Seca	Fresco	B. Seca	Fresco	B. Seca
Pasto natural		0.54		0.75		8.20		8.55		2.70		0.93
Pasto cultivado	2.48	0.40	2.52	0.40	9.00	1.44	8.68	1.39	6.21	0.99	2.54	0.41
Paja de cereales	5.14	4.73	5.11	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.29	4.87

Heno de avena	2.50	2.25	2.57	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00	5.61	5.05	2.61	2.34
CMS (kg)		7.92		8.16		9.64		9.94		8.74		8.54
Pasto cultivado: 16% MS; Paja de cereales: 92% MS y Heno de avena: 90% MS												

Alimentación promedio en época seca (kg MS/animal/día) en vacas de producción

Alimento	Setiembre	Noviembre	Mayo	Julio	Promedio	Porcentaje
Pasto natural	0.54	0.75	2.70	0.93	1.23	14.72
Pasto cultivado	0.40	0.40	0.99	0.41	0.55	6.59
Paja de cereales	4.73	4.70	0.00	4.87	3.57	42.85
Heno de avena	2.25	2.31	5.05	2.34	2.99	35.84
					8.34	100.00

Alimentación promedio en época de lluvia (kgMS/animal/día) en vacas de producción

Alimento	Enero	Marzo	Promedio	Porcentaje
Pasto natural	8.20	8.55	8.38	85.56
Pasto cultivado	1.44	1.39	1.41	14.44
Paja de cereales	0.00	0.00	0.00	0.00
Heno de avena	0.00	0.00	0.00	0.00
			9.79	100.00

Anexo 18. Metodología en el tratamiento de las pajas de cebada y avena en las comunidades en estudio

1. Determinación del tamaño de picado
(2.6 cm para ambos residuos)



2. Picado y pesado de la paja



3. Aspersión del tratamiento



4. Embolsado de los tratamientos



Anexo 19. Método para medir producción de gas (Metodología de Menke)

Principio

La relación entre digestibilidad *in vivo* y producción de gas (dióxido de carbono y metano) *in vitro*, cuando el alimento es incubado con el licor ruminal por 24 horas, puede ser usado para estimar la digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable de forrajes y concentrados.

Equipos

1. Incubadora isoterma de calentamiento eléctrico fijado a $39\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, ventilada adecuadamente.
2. Jeringas de vidrio con pistón, diámetro externo 36 mm, aprox. 200 mm de largo, con un volumen de calibración de 100 ml y con un tubo de silicona (50 mm de largo y 5 mm de diámetro interno) colocada en la boquilla de la jeringa. El tubo es fijado con un clip que cierra la jeringa.
3. Equipo de colección de licor ruminal vía fistula (recipiente de colección de aprox. 2 litros de volumen, tubos, bomba de succión, gasas).
4. Equipo para preparar el inóculo
 - Pipetas automáticas (50 ml 1/1, fijado a 30 ml de volumen)
 - Botella de Woulff (volumen 2 litros)
 - Agitador magnético
 - Baño maría a 39°C
 - Fuente de dióxido de carbono

Reactivos

a) Solución micromineral, compuesto por:

13.2 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

10.0 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

1.0 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

8.0 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Llevado hasta 100 ml con agua destilada

b) Solución buffer, compuesto por:

4.0 g NH_4HCO_3

35.0 g NaHCO_3

Llevado hasta 1000 ml con agua destilada

c) Solución macromineral, compuesto por:

5.7 g Na_2HPO_4 , anhidro

6.2 g KH_2PO_4 , anhidro

0.6 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

Llevado hasta 1000 ml con agua destilada

d) Solución resazurina, 0.1% (w/v)

e) Solución reducción (tiene que estar preparado recientemente para cada conjunto)

4.0 ml NaOH 1 N

625 mg $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$

95 ml agua destilada

Animales donadores de licor ruminal

Los animales donadores pueden ser bovinos u ovinos, equipados con una fistula ruminal. La ración debe consistir de 30-50% de concentrado mixto. El forraje debe ser de buena calidad y tiene que ser picado. Los animales pueden ser alimentados dos veces al día con intervalos de 12 horas aproximadamente.

Los piensos estándares son usados para controlar la calidad del licor ruminal, es decir, los cambios en la relación de la actividad celulolítica y amilolítica del licor ruminal pueden ser detectados por medición de la producción de gas de los estándares de heno y concentrado. Estas mediciones dan información de la dirección en la que la relación forraje: concentrado en la ración debe ser alterada. Una baja actividad del licor ruminal es indicado por la baja producción de gas del blanco y puede ser compensado incrementando la cantidad total del pienso o la porción suministrado en la noche.

A pesar del hecho de que la mayor cantidad de irregularidades de la alimentación y la composición del alimento pueden ser corregidas por mediciones de los piensos estándares, esto es recomendado para mantener la hora de alimentación y la composición de la ración tan constante y regular como sea posible. Cambios en la actividad del licor ruminal pueden ser reducidos mezclando el licor de dos animales.

Procedimiento

Preparación de las muestras: moler la muestra de modo que pase por un tamiz de 1 mm, pero evitar la molienda muy fina. Los piensos secos deben ser liofilizados o secados a temperatura por debajo de 60°C, antes de ser molidos.

Pesar alrededor de 230 mg de material seco (aprox. 200 mg de materia seca) y colocarlo en el fondo de la jeringa. Engrasar el pistón con vaselina e insertarlo al interior de la jeringa.

El pienso debe ser incubado por triplicado en dos diferentes días (con diferentes lotes de licor ruminal), lo cual rinde 6 mediciones en paralelo.

El peso de las muestras pueden ser mayor (hasta 500 mg de materia seca) con piensos de baja digestibilidad, dependiendo de la cantidad de gas producido. El total de gas de producción no debe exceder de 90 ml.

Preparación del medio:

Añadir en agua destilada para 400 ml,

0.1 ml solución micromineral (a)

200 ml solución buffer (b)

200 ml solución macromineral (c)

1.0 ml solución resazurina (d)

40 ml solución reducción (e)

Esta mezcla es preparada inmediatamente antes de la colección del licor ruminal, mantenido bajo CO₂ en baño maría a 39°C y agitado por un agitador magnético.

Antes de la adición del licor ruminal, verificar que la temperatura esté exactamente a 39°C y que el color del medio haya cambiado de azul-rosáceo a incoloro, indicando la completa reducción como es indicado por la resazurina.

Colección del licor ruminal e incubación:

El licor ruminal es colectado antes de la alimentación. Éste es filtrado a través de dos gasas de fibra de vidrio al interior de un matraz calentado a 39°C, alrededor de 2 litros, gaseado con CO₂.

Una parte del licor es mezclado con dos partes del medio es una botella de Woulff a 39°C en baño maría y agitado por un agitador magnético. El CO₂ es introducido continuamente dentro del fluido por un tubo.

30 ml de la mezcla medio-licor ruminal es bombeado con una pipeta automática dentro de cada jeringa, precalentadas a 39°C. Remover alguna burbuja de gas presente en la jeringa, cerrar el clip del tubo de silicona, leer la posición del pistón y anotarlo y colocar la jeringa en el aparato de incubación.

Las incubaciones deben empezar en la mañana, por ello la segunda lectura de la posición del pistón puede realizarse a las 6-8 horas después. Si la posición excede los 60 ml, este valor es anotado, el clip abierto y el pistón retrocedido hasta 30 ml. La lectura final es tomada a las 24 horas después de haber iniciado la incubación.

Todas las lecturas deben ser tomadas rápidamente para evitar un cambio en la temperatura; si las lecturas no pueden ser tomadas por dos personas simultáneamente, es recomendable colocar las jeringas en baño maría a 39°C antes de la lectura.

Estandarización

Diferencias en composición y actividad del licor ruminal son controladas por tres mediciones paralelas:

1. incubación de la mezcla de licor ruminal y medio sin sustrato (blanco, G_{b0});
2. incubación de un heno estándar (200 mg MS; forraje estándar) el cual debe dar una producción media de gas de 44.16 ml en 24 horas (G_{bH});
3. incubación de un concentrado estándar (200 mg MS; concentrado estándar) el cual debe dar una producción media de gas de 62.6 ml en 24 horas (G_{bC}).

En lugar del concentrado, una mezcla de 140 mg MS de heno y 60 mg MS de almidón de maíz puro pueden ser usados como concentrado estándar, con 59.8 ml de gas de producción estándar en 24 horas (G_{bHS}).

Para estas mediciones, es posible corregir cada serie de determinaciones de diferentes piensos bajo investigación. Por ello el factor de corrección para heno (F_H) es:

$$F_H = 44.16 / (G_{bH} - G_{b0}),$$

Mientras que la mezcla de concentrado (F_C) es:

$$F_C = 62.6 / (G_{bC} - G_{b0}) \text{ o } F_{HS} = 59.8 / (G_{bHS} - G_{b0}), \text{ respectivamente.}$$

La media de estos factores es usado por corrección de las mediciones de muestras. En la mayoría de los casos, la diferencia es pequeña y no significativa.

Si el factor F_H es mayor a 1.1, el contenido del forraje y/o calidad de la dieta de los animales donadores debe ser incrementado. Si el factor F_C o F_{HS} es mayor a 1.1, el contenido del concentrado y/o el nivel de alimentación deben ser incrementados.

Cálculo de los resultados

Primero, el gas de producción medio del blanco (G_{b0}) es sustraído de la producción de gas de las muestras y los estándares medidos con el mismo lote de licor ruminal.

Esta producción de gas neta tiene que ser corregida por diferencia con el peso de la muestra (W , mg MS) cuando el peso es diferente de 200 mg de materia seca.

La corrección por diferencias en la actividad del licor ruminal es corregido usando los factores estándares, derivado de las mediciones de los piensos estándares.

Por ello, la producción de gas (Gb) es definido como el incremento total en volumen ($V_{24} - V_0$) menos el blanco (Gb_0), multiplicado por el factor de corrección del peso de la muestra ($200/W$) y por el factor de corrección de la media estándar $(F_H + F_C)/2$ ó $(F_H + F_{HS})/2$, por ejemplo:

$$Gb \text{ (ml/200 mg MS, 24 h)} = \frac{(V_{24} - V_0 - Gb_0) * 200 * (F_H + F_C)/2}{W}$$

Donde V_0 = posición del pistón al inicio de la incubación;

V_{24} = posición del pistón después de las 24 horas de incubación;

Gb_0 = producción de gas de licor ruminal sin muestra en 24 horas;

$F_H = 44.16/(Gb_H - Gb_0)$; factor de corrección de forraje;

$F_C = 62.6/(Gb_C - Gb_0)$; factor de corrección del concentrado;

W = peso de la muestra en mg de materia seca.

Si el pistón de la jeringa fue retornado a 30 ml después de 8 horas de incubación (V_8), se tiene que usar la siguiente fórmula:

$$Gb \text{ (ml/200 mg MS, 24 h)} = \frac{(V_{24} - V_0 + V_8 - 30 - Gb_0) * 200 * (F_H + F_C)/2}{W}$$

Donde V_8 = posición del pistón después de 8 horas de incubación

La digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) es calculada desde la producción de gas (Gb), el contenido de proteína cruda (PC, g/kg MS) y ceniza (CZ, g/kg MS).

$$DMO = 14.88 + 0.889 Gb + 0.045 PC + 0.065 CZ$$

Similarmente, el contenido de energía metabolizable (EM, MJ/Kg MS) es calculado desde la producción de gas (Gb), el contenido de proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE, g/kg MS).

$$EM = 1.242 + 0.146 Gb + 0.007 PC + 0.0224 EE$$

Para concentrados, es recomendable utilizar la siguiente ecuación:

$$EM = 1.06 + 0.157 Gb + 0.0084 PC + 0.022 EE - 0.0081 CZ$$

Y para forrajes, se recomienda una ecuación con el cuadrado del extracto etéreo:

$$EM = 2.20 + 0.136 Gb + 0.0057 PC + 0.00029 EE^2$$

Las ecuaciones para estimación de DMO y EM a partir de la producción de gas y el contenido de nutrientes crudos son derivados de experimentos de digestión paralelos (n=400) y han sido probados con 300 otros experimentos de digestión incluidos 15 experimentos de respiración. La desviación estándar residual ($s_{y,x}$) es 4.2% cuando los forrajes y concentrados son incluidos. La ecuación solo para concentrados (n=200) tiene una desviación estándar residual de 2.9%.

Anexo 20. Metodología para medir producción de gas total (Metodología de Menke)

1. Preparación de las muestras en las jeringas



2. Preparación del medio + licor ruminal



3. Incubación de las muestras a 39°C

