

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL**



**PERFIL NUTRICIONAL DEL ENSILADO DE 2 NUEVAS
VARIETADES DE CEBADA IMBERBE**

Por:

JESÚS GALINDO HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México,
Diciembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

Perfil nutricional del ensilado de 2 nuevas variedades de cebada imberbe

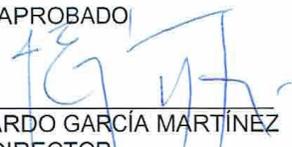
Por:

JESÚS GALINDO HERNÁNDEZ

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADO



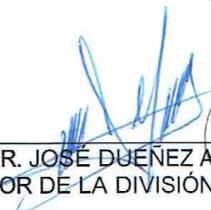
DR. JOSÉ EDUARDO GARCÍA MARTÍNEZ
DIRECTOR



DR. JOSÉ DUÑEZ ALANIS
ASESOR



M.C. CAMELIA CRUZ RODRÍGUEZ
ASESOR



DR. JOSÉ DUÑEZ ALANIS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN CIENCIA ANIMAL



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre de 2017

AGRADECIMIENTO

Primeramente, te doy las gracias mi Dios por haberme llenado de grandes bendiciones en el trayecto de mi carrera y porque a pesar de todo nunca me dejaste solo de tu mano.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme recibido y acogerme durante todo este tiempo y haber permitido mi sueño más grande de ser un profesionalista muchas gracias “alma terra mater”

A mi asesor Dr. José Eduardo García, mis más sinceros agradecimientos ya que con su valiosa ayuda pude realizar mi trabajo de tesis y gracias por su amistad y apoyo incondicional durante todo este tiempo.

A la M.C Camelia Cruz Rodríguez por haber compartido sus conocimientos, experiencia y sobre todo su valiosa amistad

Al Dr. José Dueñez Alanís por haberme brindado su apoyo y su amistad en todo este tiempo en mi estadio en la universidad.

A mis amigos Alonso Rodríguez y demás por todo su apoyo y amistad que me brindaron durante todo este tiempo y la ayuda durante mi trabajo de tesis

DEDICATORIAS

A mis padres:

Carlos Bernardo Galindo Sarabia

María Elena Hernández Castro

Por haberme dado la mejor herencia del mundo y que en todo momento me apoyaron y estuvieron conmigo, a sí con sus sabios consejos, valores, confianza, humildad ante todo y por enseñarme que en esta vida todo es difícil, pero jamás imposible, y que sí se puede teniendo ganas de hacer las cosas, gracias mis padres, siempre los llevaré en mi corazón, gracias a ustedes y a Dios hoy pude cumplir una meta más en mi vida los amo.

A mi hermano Carlos Galindo Hernández gracias por tu apoyo brindado, su cariño y amor, aunque estuviste lejos todo este tiempo nunca deje de pensar en ti, ¡gracias! que Dios te bendiga...

A la familia que de verdad creyeron en mí y me dieron su apoyo sincero e incondicional. Que Dios los bendiga siempre, los quiero familia.

A mi novia Natali de Jesús Díaz López, por su comprensión y apoyo incondicional, por todo el tiempo que me dedico para apoyarme durante toda esta etapa de mi vida y por animarme a seguir adelante

Manifiesto de Honestidad Académica

El suscrito, Jesús Galindo Hernández, estudiante de la carrera de ingeniero Agrónomo zootecnista, con matrícula 41128364 y autor de la presente tesis manifiesta que.

1. Reconoce que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho un mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de comité de asesoría, esta circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por mi parte .



Jesús Galindo Hernández

Tesista de licenciatura/UAAAN

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento de dos nuevas variedades de cebada imberbe forrajera en cuanto a su perfil nutricional en comparación con una variedad de avena y una de triticale (comerciales) utilizadas como testigos, a través del método de Wendee y la técnica de digestibilidad *In Vitro*. El estudio se realizó en el Rancho “El Retiro” ubicado en el municipio de San Pedro de las Colonias en el estado de Coahuila Mexico.

En Nuestra investigación se midió proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente acida, lignina y digestibilidad in vitro de la materia seca. Mediante las pruebas realizadas de la investigación se concluyó que los ensilados sometidos a prueba representan una buena opción forrajera para el norte de México, ya que cuentan con un buen contenido de nutrientes, principalmente proteína y un buen coeficiente de digestibilidad. Además se concluye que la variedad de cebada Narro 221 puede ser la mejor alternativa forrajera de entre las cuatro estudiadas, ya que su alto contenido de proteína y grasa, junto con su buen porcentaje de fracciones de fibra entre ellas su bajo nivel de lignina, y su buen coeficiente de digestibilidad, hacen que sea el mejor de estos forrajes ensilados y que pudiera emplearse a la par de los forrajes comerciales e incluso en sustitución total de estos.

Palabras claves: Cebada, Triticale, Avena, Forraje, Calidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
Manifiesto de Honestidad Académica	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Hipotesis.....	2
2.- REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Especies forrajeras.....	3
2.2 Historia de la cebada	4
2.3 Descripción botánica de la cebada	4
2.4 Condiciones ecológicas y edáficas.....	6
2.5 Importancia de la cebada	6
2.6 Que son las cebadas forrajeras	7
2.7 Factores que influyen en el valor nutritivo del forraje.....	9
2.8 Rendimiento y calidad forrajera de la cebada en comparación con otros cereales de invierno.....	10
2.9 Respuesta de animales alimentados con forrajes de cebada.....	12
2.10 Características generales del ensilado	14
2.11 El proceso del ensilaje	14
2.12 Importancia de la fermentación láctica.....	17
2.13 Consideraciones generales sobre cultivo para ensilar.....	17
2.14 Como obtener una buena fermentación.....	19
2.15 Microflora del ensilaje.....	20
2.16 Técnica in vitro.....	24
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Localización del sitio experimental	25
3.2 Análisis del laboratorio.....	25
3.3 Procedimientos experimentales.....	27
3.4 Procedimiento.....	28
3.5 Análisis estadístico	29
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.- CONCLUSIONES	33
6.- LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Concentración de azúcares solubles y proteínas en cultivos forrajeros.	18
4.1	Perfil nutricional de dos variedades de cebada.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Producción de Cebada en México 2000-2008 (Millones de Toneladas).	7

1. INTRODUCCIÓN

Dada la situación económica de nuestro País, es lógico que la producción de granos primarios (trigo, avena y maíz) se destine principalmente al consumo humano y solo una mínima parte sea utilizada en la alimentación animal, por ello es de gran importancia que los granos secundarios (centeno, triticale y cebada) empiecen a ser alternativas para la producción forrajera.

A lo largo de los años, los estudios realizados en cebada han demostrado que ésta tiene ventajas sobre otros cereales al ser más vigorosa, y resistente a la sequía y a la salinidad, además, de que puede cultivarse en suelos marginales; presenta rápido desarrollo, por lo que produce forraje y grano en relativamente menor tiempo y costo en comparación con otros cultivos del mismo ciclo; ofrece también buena calidad forrajera (Colin *et al*, 2007).

Ahora lo importante es poner a prueba estos resultados en el terreno de los hechos, es decir, ver la respuesta de los animales en cuanto a su consumo ya que la cebada común tiene la desventaja de contar con aristas que provocan lesiones en el tracto digestivo del animal siendo el factor principal para limitar su consumo, en los últimos años en nuestro país el mejoramiento genético se ha enfocado a minimizar esta característica indeseable. Los diversos trabajos realizados en la UAAAN por parte del Programa de Cereales, han sido orientados al uso del grano en la alimentación animal, pero que recientemente se han enfocado al rendimiento y calidad de la materia seca total y sus fracciones, los objetivos planteados anteriormente deben estar ligados de tal manera que el productor de forraje este consiente de las ventajas que implica ofrecer al mercado un forraje de buena calidad, así como también el ganadero vea reflejada ésta calidad en la ganancia de peso diario o en la producción diaria de leche de sus animales.

Para conocer que tan digestible es un ingrediente se han realizado tanto estudios *in Vivo* como *in Vitro* pero los primeros implican mayor tiempo y mayor desembolso económico, la digestibilidad *in Vitro* a aportado resultado similares con menor costo.

Justificación.

Contar con un forraje que responda a las necesidades nutricionales del ganado y adaptada a condiciones climáticas adversas presentes en el norte de México.

Objetivo.

Evaluar el comportamiento de dos líneas de cebada imberbe forrajera en cuanto a su perfil nutricional en comparación con una variedad de avena y una de triticale (comerciales) utilizadas como testigos, a través del método de Wendee y la técnica de digestibilidad *In Vitro*.

Hipótesis.

- Existe diferencia en el perfil nutricional de las variedades de cebada, avena y triticale.
- No existe diferencia en el perfil nutricional de las variedades de cebada, avena y triticale.

2. REVISIÓN LITERARIA

2.1 Especies forrajeras

Las especies vegetales de interés forrajero se encuentran principalmente comprendidas en la familia de las gramíneas y de las leguminosas se incluyen además algunas especies de raíces como las que pertenecen a las familias de las Chenopodiaceae, Crucíferas y Umbellíferas (SEP, 1991).

Juscafresa (1983) señala que uno de los recursos económicos más importantes con que cuenta el ganadero son los forrajes obtenidos en praderas artificiales temporales o permanentes, ofreciendo una alimentación que puede darse en verde, henificado deshidratado o ensilado en todas las épocas del año.

La actual restricción para cultivar especies altamente demandantes de agua como la alfalfa, requiere de opciones forrajeras que permitan a la ganadería una mayor eficiencia en la producción, adoptando tecnología ahorradora de agua. Recientemente, el uso del triticale se ha revelado como una alternativa para la producción de forraje en invierno (Lozano, 2002). Dado que posee mayor tolerancia a bajas temperaturas, uso eficiente del agua, producción de biomasa y valor nutritivo superior al de avena y ballico, por lo cual ha tenido rápida aceptación por los productores de Coahuila y Chihuahua (Lozano, 2004). Sin embargo, éste y otros cereales de invierno tienen como desventaja la presencia de aristas en la espiga, que pueden lacerar las mucosas de los animales (Abdel-Haleem, 2004); en cambio la cebada imberbe es una especie que ha mostrado buena aptitud forrajera y la ausencia de aristas en la espiga puede evitar este problema e impactar en el total de nutrientes digestibles (Carr, 2004) , por lo que nuevos genotipos de cebada forrajera, imberbes, con alta producción de biomasa y precocidad,

representan una alternativa de solución a la escasez de forraje durante la época invernal, favoreciendo la diversificación de cultivos forrajeros.

2.2 Historia de la Cebada

La cebada se conoce desde tiempos muy remotos. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura.

Poehlman (1981), cita que Vavilov describe dos centros de origen. Uno de ellos; Etiopía y África del Norte, de donde proceden muchas de las variedades cubiertas, con barbas largas, mientras que del otro centro; China, Japón, y el Tíbet, proceden las variedades desnudas, de barbas cortas o imberbes y los tipos de grano cubiertos por caperuzas.

Se supone que donde se cultivó primeramente fue en el sudoeste de Asia (más o menos 5000 años A. C.), región en la que aún pueden hallarse las cebadas silvestres *Hordeum spontaneum* y *Hordeum ithuburense*. Hay sin embargo quienes citan que la cebada ha sido cultivada desde hace más de 15, 000 años. Originaria de Eurasia, ha probado ser el cereal más ampliamente adaptado a regiones templadas alrededor del mundo (Colin *et al.* 2007).

2.3 Descripción Botánica de la Cebada

Robles (1990), establece que la cebada tiene un hábito de crecimiento anual, con tendencia a convertirse en perenne bajo condiciones muy especiales. Existen variedades de primavera e invierno. Las primeras tienen un ciclo corto de 80 a 90 días, se siembran a fines de invierno o a principios de primavera, usadas principalmente para la producción de grano. Las variedades de invierno poseen un ciclo hasta de 160 días, utilizadas principalmente para la producción de forraje.

Raíz; el sistema radical de la cebada es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con otros cereales.

Tallo; erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila generalmente desde 0.50 a 1.0 m.

Hojas; las hojas de la planta de cebada son más largas y de un color más claro que las de trigo, siendo en general lisas y rara vez pubescentes; su ancho varía entre 5 y 15 mm. Los cultivares primaverales se caracterizan por presentar hojas lisas; los invernales, por su parte, presentan hojas rizadas y más angostas. Las hojas están compuestas por una vaina, una lámina, dos aurículas y una lígula. La vaina de cada hoja envuelve la sección del tallo ubicada sobre el nudo a partir del cual se originan; en la unión de la vaina con la lámina se observa un par de aurículas largas y abrazadoras, la lígula es lisa, corta y dentada.

Inflorescencia; las inflorescencias corresponden a espigas, las cuales se caracterizan por ser compactas y generalmente barbadas. La espiga es una extensión de tallo, tiene un raquis en forma de zig-zag de 2.5 a 12.7 cm. de longitud el cual cuenta con 10 a 30 nudos. La espiga está conformada por estructuras llamadas espiguillas, cada una integrada por el grano y dos glumas con barbas de longitud variable, lisas o aserradas, las espiguillas son alternas y están adheridas al raquis. Las variedades de 6 hileras (*Hordeum vulgare*) tienen 25 a 60 granos por espiga mientras que las de 2 hileras (*Hordeum vulgare*) tienen de 15 a 30 (Warren y Martín, 1970).

Grano; el grano de cebada es un fruto denominado cariósipide, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas; siendo generalmente inseparables; el fruto, por lo tanto, es de carácter indehiscente. El grano está compuesto por pericarpio y embrión, el cual está localizado en la parte dorsal del mismo, su color puede

ser crema, blanco, negro, rojo o azul; los últimos colores son el resultado de pigmentos de antocianina. (Warren y Martín, 1970).

2.4 Condiciones Ecológicas y Edáficas

El cultivo de la cebada se puede desarrollar en regiones que presentan un rango de temperatura entre 3° C y 30° C, siendo la óptima 20° C, la altitud oscila entre 400 y 3500 msnm, prospera en regiones secas y cuando se cultiva en regiones húmedas se debe tener cuidado con la incidencia de algunos fitopatógenos, se ha observado que este cultivo se adapta a muy diversos tipos de climas y suelos, de ahí su distribución mundial. Es tolerante a la alcalinidad en comparación al trigo y la avena, prosperando mejor en suelos arenosos. Los mejores rendimientos de grano se obtienen en suelos tipo migajón con buen drenaje, profundos y PH de 6.0 a 8.5.

2.5 Importancia de la cebada

Teniendo en cuenta las características que presenta la cebada en cuanto a su rusticidad y considerando que aproximadamente el 80% del área agrícola en nuestro país es de temporal, el aprovechamiento de este cultivo es de gran importancia para su establecimiento sobre todo en aquellas áreas en las que otros cultivos no prosperan.

En la figura 1, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera muestra que en el período 2002-2007, el rendimiento promedio de la cebada en México fue de 2.5 ton/has., con una TMAC del 0.45%. A pesar de la caída registrada en los niveles de producción (ton/has) entre 2003 y 2004, el rendimiento obtenido no mostró el mismo comportamiento. Sin embargo, al cierre de 2007, el rendimiento a nivel nacional se ubica en 2.17 ton/has, cifra que resulta ligeramente superior, con respecto el año 2002.

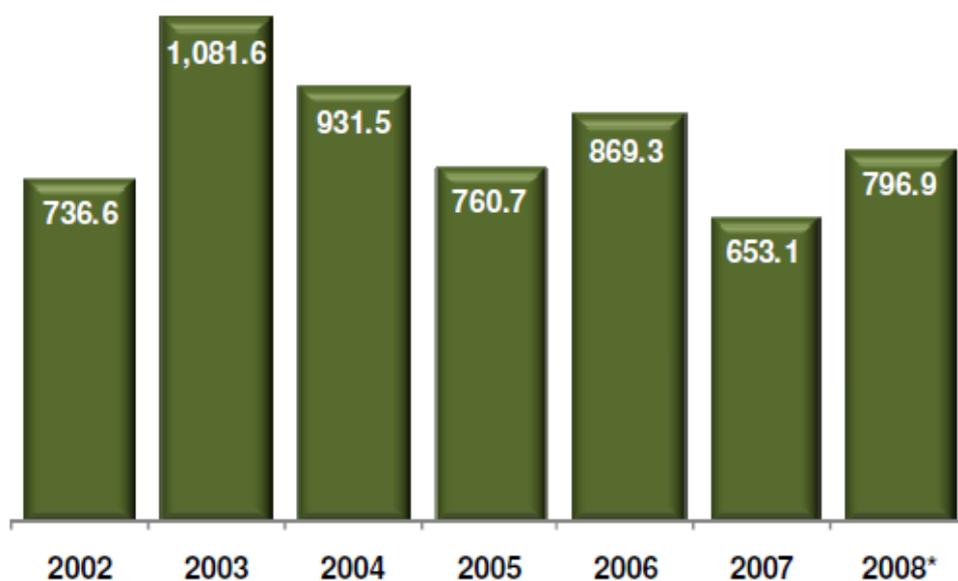


Figura 2.1 Producción de Cebada en México 2000-2008 (Millones de Toneladas). Fuente: Elaboración propia con información del SIAP.

2.6 ¿Qué son las cebadas forrajeras?

Las cebadas forrajeras son variedades específicamente desarrolladas para forraje utilizado en la alimentación del ganado. Mientras que algunas cebadas pueden ser utilizadas para alimentar ganado, las forrajeras producen más altos rendimientos de biomasa que las alimenticias convencionales. Las cebadas forrajeras proveen también más energía por tonelada de materia seca de toda la planta lo que las hace de mayor calidad y una fuente forrajera más costeable que las variedades convencionales (Forage Barleys for Manitota, 2006: citado por Colin, 2007).

Colín *et al.* (2004), en una evaluación de 36 líneas imberbes de cebada (*Hordeum vulgare*) y dos testigos comerciales (Cebada variedad Cerro prieto y triticale variedad Eronga-83), en Torreón Coahuila, Navidad N. L. y Celaya Gto. Durante el ciclo 01-02-03 para estudiar su comportamiento en producción de forraje seco, altura de planta, peso seco de las hojas, tallos y espigas, etapa fenológica al corte y las relaciones entre variables, concluyeron que las cebadas imberbes probadas, por su alto

rendimiento de forraje y proporción de hojas y espigas en el mismo, son alternativa real para contribuir al abasto de forraje durante el periodo invernal de áreas como La Laguna, el Bajío Mexicano y otras de condiciones similares.

A pesar de sus bondades, en nuestro país poco se ha utilizado en la producción de forraje en comparación con la superficie que se le dedica en otros países, en algunos de los cuales existen programas de mejoramiento genético de esta especie como alternativa forrajera, orientados al uso del grano en la alimentación animal, pero que recientemente se han enfocado al rendimiento y calidad de la materia seca total y sus fracciones.

Se ha establecido que la biomasa se incrementa desde la etapa vegetativa hasta el grano masoso y declina cuando se acerca a la madurez fisiológica, en tanto la calidad disminuye por efecto de la elongación de los tallos y cambios en la estructura de la pared celular secundaria. Una buena calidad se asocia con una mayor proporción de hojas (o relación hoja tallo) debido a su mejor digestibilidad y mayor contenido de proteína que los tallos; en cebada también se ha relacionado a una mayor proporción de materia seca de espigas, ya que es más digestible y nutritiva que otras fracciones; sin embargo en nuestro país pocos esfuerzos de mejoramiento se han realizado para estos fines, utilizando como forrajeras aquellas variedades malteras con grano de baja calidad para la industria (Colín et al. 2007).

Una consideración importante en muchos programas de mejoramiento de plantas es la selección de variedades que mantengan un buen comportamiento sobre un amplio rango de ambientes; la obtención de genotipos ampliamente adaptados es difícil, sin embargo es posible ya que la respuesta fenotípica a cambios ambientales usualmente difiere entre variedades (Eskridge y Johnson 1991). En general, un genotipo fuertemente influenciado por el ambiente puede superar en alguna característica al comportamiento de muchos otros bajo algunos ambientes pero en contraste puede tener desventajas en otros. Cuanto mayor es la interacción genotipo –

ambiente en una variedad, ésta es menos estable y por lo mismo más impredecible es su comportamiento en diferentes ambientes (Piepho, 1994).

2.7 Factores que influyen en el valor nutritivo del forraje.

Flores (1990) menciona que las plantas tiernas son más acuosas, más blandas y con mayor riqueza en proteínas y contiene más calcio y fósforo sobre la base de la materia seca y vitaminas, especialmente provitamina "A". Las plantas a medida que maduran se ponen más leñosas debido al aumento de celulosa, hemicelulosa y lignina, razón por la cual en plantas jóvenes la materia seca es más digestible que las de desarrollo avanzado.

Seis son los factores más importantes que afectan la calidad del forraje (no el rendimiento), jerarquizados por su impacto incluyen madurez, especie de cultivo, cosecha y almacenamiento, el medio ambiente, la fertilidad del suelo y la variedad, citado por (Colín et al. 2007).

1. Madurez (fecha de cosecha). Es el más importante factor que afecta la calidad del forraje. La calidad del forraje nunca es estática las plantas continuamente cambian su calidad a medida que maduran. Como se incrementa la pared celular en la planta, se acumula lignina indigestible. De hecho la madurez de la planta forrajera cambia tan rápidamente que es posible medir significativos decrementos en la calidad del forraje cada dos y tres días.

2. Especie de cultivo. Las diferencias de calidad forrajera entre pastos y leguminosas pueden ser muy grandes. El contenido de proteína de las leguminosas es mucho más alto que el de los pastos y la fibra en las leguminosas tiende a dirigirse más rápido que la de los pastos permitiendo a los rumiantes comer más de leguminosas.

3. Cosecha y almacenamiento. Técnicas inadecuadas de cosecha pueden reducir seriamente la calidad del forraje principalmente mediante la pérdida

de hojas. Almacenar un cultivo henificado a contenidos de humedad incorrectos y un cultivo forrajero inapropiadamente ensilado, puede bajar dramáticamente su calidad.

4. Medio ambiente (clima). Humedad, temperatura y la cantidad de luz solar influyen sobre la calidad del forraje. El daño de la lluvia es muy destructivo sobre la calidad del forraje. Cuando el mal tiempo (clima) retrasa la cosecha, el cultivo forrajero continua madurando y por ende baja su calidad. Las altas temperaturas pueden incrementar la acumulación de lignina en detrimento de la calidad, sin embargo estrés de sequía puede beneficiar la calidad si retarda la madurez.

5. Fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo afecta el rendimiento de forraje mucho más que la calidad sobre suelos pobres e improductivos, generalmente es muy difícil producir altos rendimientos de forraje de alta calidad con suelos improductivos. Suelos con inadecuado niveles de fósforo (P) y potasio (K) ayudan a mantener leguminosas deseables en una siembra combinada y reduce problemas de malezas. Es necesario balancear la fertilidad del suelo para evitar imbalances minerales en rumiantes. Baja fertilidad del suelo al igual que muy alta puede resultar en forrajes de reducida calidad.

6.- Variedad a cultivar. Después de décadas de mejoramiento en forraje para rendimiento y persistencia recientemente la atención ha sido enfocada al desarrollo e identificación de variedades con mejorada calidad. La variedad o cultivar pueden afectar la calidad forrajera pero no tan grandemente como los cinco factores anteriores. En alfalfa, la selección para mejorar la calidad ha sido objetivo de la mayoría de las compañías comerciales y varias firmas de Estados Unidos han iniciado la selección de maíces híbridos para ensilaje.

2.8 Rendimiento y calidad forrajera de la cebada en comparación con otros cereales de invierno.

Poland *et al* 2004, evaluaron por dos años en Dakota del Norte el efecto de especies forrajeras (avena y cebada) y en cebada el tipo varietal (forrajes o granos) sobre el rendimiento y calidad forrajera. Diez variedades en 2002 (5 avenas, 3 cebadas forrajeras y dos de grano). En el año 2002 el porcentaje de proteína cruda PC (13.5 y 12 %) fue significativamente superior en las cebadas de grano respecto a las forrajeras ($P=0.02$) pero las concentraciones de FAD, FDN, TND, digestibilidad in Vitro de la materia seca (IVDMD) y rendimiento de materia seca (MS), proteína cruda (PC) e IVDMD no difirieron entre tipos de cebadas (Pmm0-15).

Las concentraciones de PC, IVDMD y los rendimientos de MS, PC e IVDMD fueron mayores en cebada que en avena. En el año 2003 el tipo de forraje no afectó el rendimiento ni los parámetros de calidad. Las concentraciones de FAD, FDN y TND se redujeron en tanto que la IVDMD se incrementó en la cebada en comparación con la avena. En ambos años la proporción de IVDMD a TND no difirió entre tipos de forraje pero fue mayor en cebada que en avena. Los autores mencionaron que la información obtenida sugiere que las cebadas forrajeras no son superiores a la de grano en producción de forraje, sin embargo la cebada forrajera es de calidad superior y puede producir en tanto y más forraje que la avena en Planicies del Norte.

García (1989), al evaluar el potencial forrajero de avenas, cebadas, y triticales, en Navidad N.L. bajo condiciones de temporal encontró que la variedad de triticales Cananea 79 y la cebada Apizaco, tuvieron mayor eficiencia de producción de materia seca por milímetro respectivamente con un rendimiento de tres a cuatro toneladas por hectárea con una precipitación durante el ciclo de 391 milímetros.

Poehlman (1981), menciona que las cebadas que se utilizan para la alimentación del ganado deben de ser de alta productividad por lo que se busca:

- Elevado ahijamiento
- Elevado número de granos por espiga

- Alto peso hectolítrico
- Resistencia al acame
- Resistencia al desgrane
- Resistencia a enfermedades
- Elevado contenido de proteínas

2.9 Respuesta de animales alimentados con forraje de cebada.

La actividad celulolítica de bacterias y hongos ruminales permite un aprovechamiento metabólico eficiente en rumiantes alimentados con forrajes de mala calidad. No obstante, sólo el 10-35% de la energía consumida es retenida como energía neta; porque el 20-70% de los carbohidratos estructurales pueden ser no digeribles (Varga y Kolver, 1997).

Hernán y Menéndez (2004) al evaluar la respuesta de vacas lecheras a las que se le ofreció uno de tres tipos de ensilaje. Dieciocho vacas fueron asignadas a tres tratamientos: (A) ensilaje de avena, (B) ensilaje de cebada; y (C) ensilaje de trigo. Los respectivos ensilajes fueron ofrecidos a libre disposición en cada tratamiento. Durante la etapa experimental, se hizo un control diario de producción y un muestreo de leche por animal, para determinar su composición. Concluyeron que el ensilaje de los tres cereales presentó características aceptables. La mejor respuesta del animal, en cuanto a consumo voluntario y contenido de proteína, se observó para el ensilaje de cebada y de trigo, respecto al de avena. En cuanto a producción de leche diaria fue mayor cuando los animales se alimentaron con ensilaje de cebada.

Mc. Cartney y Vaage (1994) en un estudio comparativo en cuanto a rendimiento de producción forrajera y valor nutritivo en la alimentación de vaquillas con silo de cebada, avena y triticale, reportan que la cebada presenta superioridad en cuanto al consumo por el ganado debido a su alta palatabilidad, la avena se comportó de forma intermedia entre las tres especies, por lo que basándose en el comportamiento de las vaquillas,

concluye que el silo de cebada fue el preferido de los tres. El silo menos aceptable por las vaquillas fue el de triticale debido a su palatabilidad.

Los rumiantes requieren generalmente de una dieta rica en fibra para la función normal del rumen. Los efectos positivos de la fibra en la dieta también se han observado en varias especies de no rumiantes, incluyendo cerdos, cerdos de Guinea y seres humanos. La fibra óptima para los seres humanos. La fibra óptima para los seres humanos se ha estimado en 40 g/día que puede corresponder a cerca del 10 % de la materia seca del producto. A mayor cantidad de fibra en la alimentación se obtiene una cierta pérdida en la eficiencia total en la mayoría de las especies (Van Soest 1994). La alta calidad del forraje redundará siempre en mayor consumo, digestibilidad y eficiencia de utilización. Las paredes celulares son componentes importantes en la determinación de la calidad puesto que tienen una fracción digestible y otra indigestible. El contenido de fibra detergente neutro (FDN) es una medida de la fracción digerible del total de la pared celular, en contraste la fibra detergente ácido (FDA) es una medida de la fracción indigestible. Cuando el contenido de pared celular en el alimento es bajo, se espera que el consumo y la digestibilidad en los animales sean incrementados. El contenido de proteína es un importante factor alimenticio *per-sé*, así alimentos con alto contenido de proteína, son también considerados de alta calidad (Juskiw *et al.*, 2000). La composición química y el valor nutritivo del material vegetal verde, pueden dar información útil respecto de la calidad del ensilado resultante (Kjos, 1990).

En muchos países los forrajes ensilados son muy apreciados como alimento animal. En Europa, los agricultores de países como Holanda, Alemania y Dinamarca, almacenan más de 90 por ciento de sus forrajes como ensilaje. Aún en países con buenas condiciones climáticas para la henificación, como Francia e Italia, cerca de la mitad del forraje es ensilado (Wilkinson *et al.*, 1996). Para producir un ensilaje de buena calidad es esencial asegurar que se produzca una buena fermentación microbiana en el ensilado. El proceso de fermentación no depende sólo del tipo y la calidad

del forraje, sino también de la técnica empleada para la cosecha y para el ensilaje.

El ensilado es un método de conservación de forrajes (u otros alimentos), con un elevado contenido de humedad, protegido del aire, de la luz y de la humedad exterior, con un mínimo de pérdidas de materia seca y en valor nutritivo, con una buena palatabilidad y sin productos tóxicos para los animales (Buxade, 1995).

El proceso de conservación de forrajes, inevitablemente presenta pérdidas de masa vegetal y consecuentemente, un deterioro del valor nutritivo. Por esto, los objetivos principales que enfoca la conservación son minimizar las pérdidas de materia seca y minimizar la pérdida en el valor nutritivo del forraje (Ruiz, 1996).

2.10 Características generales del ensilado (Bertoia, 2004)

- Es el producto que se obtiene en la fermentación controlada de cultivos de alto contenido de humedad.
- Es el resultado final de la conservación de una cosecha bajo condiciones que hacen posible la producción de suficiente ácido láctico, para mantener la masa sin un deterioro posterior.
- El ensilaje es un tipo de forraje obtenido por la fermentación parcial de una planta apropiada, que será consumido por el ganado cuando no pueda disponerse de pasto seco.

2.11 El proceso del ensilaje

El ensilaje es una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas de ácido láctico (BAC) fermentan los carbohidratos hidrosolubles (CHS) del forraje produciendo ácido láctico y en

menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. Una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Weinberg y Muck, 1996; Merry *et al.*, 1997).

Fase 1 - Fase aeróbica. En esta fase -que dura sólo pocas horas- el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH 6,5-6,0).

Fase 2 - Fase de fermentación. Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad BAC proliferará y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3,8 a 5,0.

Fase 3 - Fase estable. Mientras se mantenga el ambiente sin aire, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos pero a menor ritmo. Más adelante se discutirá la actividad de *L. buchneri*.

Fase 4 - Fase de deterioro aeróbico. Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la

explotación por daño de la cobertura del silo (p. ej. roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas.

La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos -también facultativos- como mohos y enterobacterias.

El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro que oscilan entre 1,5 y 4,5 por ciento de materia seca diarias pueden ser observadas en áreas afectadas. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Honig y Woolford, 1980).

Para evitar fracasos, es importante controlar y optimizar el proceso de ensilaje de cada fase. En la fase 1, las buenas prácticas para llenar el silo permitirán minimizar la cantidad de oxígeno presente en la masa ensilada. Las buenas técnicas de cosecha y de puesta en silo permiten reducir las pérdidas de nutrientes (CHS) inducidas por respiración aeróbica, dejando así mayor cantidad de nutrientes para la fermentación láctica en la Fase 2.

Durante las Fases 2 y 3, el agricultor no tiene medio alguno para controlar el proceso de ensilaje. Para optimizar el proceso en las Fases 2 y 3 es preciso recurrir a aditivos que se aplican en el momento del ensilado y cuyo uso se discutirá más adelante.

La Fase 4 comienza en el momento en que reaparece la presencia del oxígeno. Para minimizar el deterioro durante el almacenaje, es preciso asegurar un silo hermético; las roturas de las cubiertas del silo deben ser reparadas inmediatamente. El deterioro durante la explotación del silo puede minimizarse manejando una rápida distribución del ensilaje. También se pueden agregar aditivos en el momento del ensilado, que pueden reducir las pérdidas por deterioro durante la explotación del silo.

2.12 IMPORTANCIA DE LA FERMENTACIÓN LÁCTICA (Bertoia, 2004)

- Asegura la concentración de ácido láctico, elemento conservante natural, que es digerido por el animal sin formar productos secundarios contaminantes o poco palatables para el ganado.
- Las bajas temperaturas que se generan durante la fermentación láctica aseguran la conservación de un máximo de elementos nutritivos.
- Las pérdidas por respiración son mínimas.
- En condiciones normales las bacterias lácticas se encuentran presentes y en cantidad adecuada en el forraje cortado.
- Se obtiene un ensilaje aceptado por el animal.
- No causa efectos secundarios o nocivos sobre el animal ni modifica el sabor o la apariencia de la leche, manteca o queso.
- Genera condiciones no propicias para el desarrollo de microorganismos indeseables.

2.13 Consideraciones generales sobre cultivos para ensilar (Bertoia, 2004).

Cuando se desee ensilar un cultivo debe tenerse en cuenta ciertas cualidades tales como:

- Alto rinde de materia seca por unidad de superficie.
- Alto valor nutritivo.

Componentes del vegetal que faciliten el proceso, dentro de los cuales el contenido de azúcares solubles es fundamental. Su concentración está condicionada por la especie vegetal que se considere. Por supuesto que deberá ser alto y con una marcada supremacía sobre el contenido de proteínas. La relación azúcares/ proteínas deberá ser elevada para evitar que el exceso de nitrógeno producido por los procesos degradativos forme productos tóxicos y/o que neutralicen el ácido láctico formado. Las leguminosas (alfalfa por ej.) presentan una relación azúcares/proteínas muy baja, razón por la cual su conservación mediante esta técnica es complicada y requiere procesos previos y construcciones especiales que disminuyan el riesgo de putrefacción del material. En el cuadro 2.1 se muestra una relación azúcares/ proteína adecuadas para cultivos forrajeros y a partir de ahí poder determinar cuál es la mejor relación. Los valores que se presentan son válidos cuando los cultivos son cosechados en el momento más adecuado.

Cuadro 2.1 Concentración de azúcares solubles y proteínas en cultivos forrajeros.

Cultivo	Contenido de azúcares solubles	Contenido de proteínas	Aptitud para ensilaje
Maíz o sorgos	Muy alto	Muy bajo	Alta
Pasturas de gramíneas	Alto	Medio	Media
Pasturas mixtas	Medio	Alto	Regular
Alfalfa	Bajo	Muy alto	Problemática

Otro factor condicionante del contenido de azúcares solubles es el estado de madurez del cultivo al momento de picado. A medida que las especies se desarrollan, sus componentes generan cambios en la composición morfológica y química de la planta completa. La materia seca

aumenta, junto con el contenido de almidón y fibra. Simultáneamente se reduce el contenido de proteínas.

El momento de cosecha también tiene una estrecha relación con el contenido de humedad del forraje al momento del picado. Se considera como rango óptimo al que fluctúa entre 60 y 70 % de humedad. Valores inferiores generan un aumento de la temperatura en la masa ensilada durante la primera etapa debido a la dificultad que ofrece el forraje a la compactación y consecuentemente a la expulsión del aire. En el caso de cosechar con baja humedad la masa es elástica y tiende a retornar al volumen inicial. En consecuencia es necesario reducir el tamaño de la partícula picada con el objeto de atenuar el efecto “resorte” del forraje y así disminuir el volumen que ocupa el aire dentro del silo. Se aconseja, en estos casos trabajar con partículas de 1,2 a 0.9 cm.

Cuando el contenido de materia seca del forraje a ensilar es superior al 70 % la compactación se ve muy facilitada, pero se producen fuertes pérdidas de nutrientes por escurrimiento de los jugos de la planta. Además en el medio se generan condiciones favorables para el desarrollo de bacterias del género *Clostridium*, capaces de alterar la calidad del forraje conservado (Bertoia, 2004)

2.14 Como obtener una buena fermentación

La calidad del ensilado se ve afectado por muchos factores como: las características propias del forraje al ser cosechado, clima, estado de madurez y condiciones de crecimiento. Para la obtención de una buena calidad de ensilaje se deben seguir los siguientes pasos (Hiriart, 1998):

Forraje de buena calidad. El ensilado nunca mejorara la calidad del forraje cosechado, de manera que el punto de partida es conservar praderas de excelente calidad en estado de preespigadura o al inicio de ella.

Picado del forraje. En lo posible se debe desechar el uso de máquinas sin dispositivos repicadores de forraje, debido a que mientras más largo esté el pasto más difícil es la compactación y con ello la eliminación del aire (salvo que sea un forraje muy tierno), con lo que la actividad de los microorganismos perjudiciales es mayor y aumentan las pérdidas de calidad y cantidad de material aprovechable. El picado ideal debe ser de 1 a 2 centímetros de largo.

Compactación del forraje. Este aspecto es ligado al picado. La compactación también tiene como objetivo eliminar la masa del forraje. La mejor compactación se logra con la pata del animal, pero lo usual es compactar con el tractor. En este caso, el trabajo debe ser permanente mientras se ensila.

Tipo de llenado. En la medida en que el tiempo de llenado sea muy largo, se produce un mayor intercambio gaseoso en el ensilado, y se prolonga a la acción de los microorganismos indeseables, lo que lleva a obtener una masa irregular del ensilado y mayor pérdida de bordes. A mayor tiempo de llenado, mayor es el riesgo de pérdidas por acción de levaduras y hongos al momento de abrir el silo. La confección de un ensilado no debe exceder de cinco días.

2.15 Microflora del ensilaje

La microflora del ensilaje juega un papel clave para el éxito del proceso de conservación. Puede ser dividida en dos grupos principales: los microorganismos benéficos y los microorganismos indeseables. Los microorganismos benéficos son los microorganismos BAC. Los indeseables son aquellos organismos que causan el deterioro anaeróbico (p. ej. clostridios y enterobacterias) o deterioro aeróbico (Ej. levaduras, bacilos, *Listeria* sp. y mohos). Muchos de estos organismos indeseables no sólo reducen el valor nutritivo del ensilaje sino que pueden además afectar la salud de los animales o alterar la calidad de la leche, o ambas (p. ej.: *Listeria* sp., clostridios, hongos y bacilos).

En los pastos frescos los microorganismos más importantes son las bacterias y hongos aerobios, pero conforme progresan las bacterias aerobias en el ensilado, se sustituyen por bacterias que pueden crecer sin que exista oxígeno. También existen levaduras que por ser anaerobias facultativas (es decir que se desarrollan tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas), pueden mantenerse y crecer en los ensilados (Elizalde, 2005).

Las bacterias ácido lácticas que también son anaerobias facultativas, se encuentran en los cultivos en crecimiento en pequeña cantidad pueden clasificarse en dos grupos: bacterias ácido lácticas homofermentativas y bacterias ácido lácticas heterofermentativas.

Una vez ensilado el forraje, las bacterias ácido lácticas siguen multiplicándose, fermentando los carbohidratos hidrosolubles con producción de ácidos orgánicos, principalmente lácticos que rebajan el pH, con el contenido de humedad. Los ácidos inhiben el crecimiento de otras bacterias hasta que, aproximadamente a un pH de 3.8 a 4, cesa la actividad microbiana, permaneciendo estabilizado el producto mientras se mantengan condiciones de ana anaerobiosis (Elizalde, 2005).

Si no se consigue un pH estable, los Clostridios sacarolíticos que se encuentran esporulados en el cultivo original, se multiplican y fermentan el ácido láctico y los carbohidratos hidrosolubles residuales con formación de ácido butírico, lo que determina la elevación del pH. En este momento se activan los Clostridios proteolíticos menos resistentes a ácidos, causando un nuevo aumento del pH como consecuencia de la producción de amoniaco.

Los clostridios son muy sensibles a la falta de agua, y precisan condiciones de mucha humedad para su multiplicación rápida. Con respecto a los forrajes muy húmedos (esto es aquellos cuyo contenido de materia seca es de 15 %), incluso alcanzándose un pH de 4, puede o no inhibirse su actividad (Jiménez y Moreno, 2005).

Otro grupo de microorganismos que se encuentran en los forrajes recolectados, que pueden multiplicarse en el silo, corresponden a bacterias coliformes, entre las que destacan las bacterias ácido acéticas, debido a que este ácido es uno de los productos principales al fermentarse los azúcares (Jiménez y Moreno, 2005). El pH para las bacterias coliformes es aproximadamente de 7, por lo que suelen activarse en las fases iniciales de la fermentación, mientras el pH resulta favorable para su multiplicación.

El análisis de la digestibilidad de los alimentos es de gran importancia, ya que existen diferentes moléculas que son fácilmente absorbibles y otras que son resistentes a la degradación (Minson, 1982). La digestión de un ingrediente depende de los siguientes factores importantes: 1) La cantidad del ingrediente, 2) Las propiedades intrínsecas del mismo y 3) La interacción entre los ingredientes.

La tasa de digestión es la interpretación de las curvas de la degradación acumulativa y se refiere a la cantidad de alimento que puede ser digerido por unidad de tiempo (Singh *et al.*, 1992). En dietas a base de pajas, más del 60% de la digestión se lleva a cabo en el rumen (Jouany, 1994). Ushida *et al.* (1990) mencionan que el efecto de los protozoarios sobre la digestión de la pared celular de los vegetales son más marcados en dietas suplementadas con almidón, con cierta disminución en la digestión de los carbohidratos de la pared celular.

El rumen es un ecosistema complejo en donde el alimento que es consumido por el rumiante, es activamente digerido por una microflora y microfauna diversa. Como resultado de esta digestión microbiana (fermentación) se producen los ácidos grasos volátiles y más biomasa microbiana, los cuales son productos utilizados por el animal. Es en la diversidad, adaptabilidad e interacciones mutualísticas entre los microbios ruminales (bacterias, protozoarios y hongos) y el animal lo que da a los rumiantes un marco de competitividad sin igual por su habilidad de digerir y producir con dietas altas en fibra las cuales frecuentemente son bajas en proteína.

Aunque el rumen ha sido investigado por más de 50 años por microbiólogos y bioquímicos (Hobson y Stewart, 1998), sin embargo, ha resultado un ambiente tan complejo que no ha sido posible manipularlo tan fácilmente como en el caso de la fermentación industrial. Desde el inicio, las investigaciones del rumen se han orientado no sólo a la identificación de la microbiota, sino también en la búsqueda de la eficiencia de esos organismos para degradar más rápido y más extensivamente los forrajes. Mucho de los intentos se han orientado hacia la modificación de los alimentos, remoción de algunos componentes estructurales (lignina) y tratamientos sobre estos carbohidratos para hacerlos más asequibles a las enzimas microbianas. (Obispo, 2005).

Los procesos de digestión *in Vitro* han sido desarrollados usando líquido ruminal o celulasas y soluciones tampón para simular las condiciones del rumen. Se han aplicado procesos enzimáticos *in Vitro* para forrajes y pajas de baja calidad; sin embargo, han sido relativamente insatisfactorios, porque las bacterias del rumen son más eficientes para digerir carbohidratos estructurales que enzimas fungícas purificadas y levaduras, alcanzando un nivel superior de digestión de la pared celular (Van Soest, 1994).

En vista de que no solo en las heces hay pérdidas de alimento, sino también en la orina y en el caso de los rumiantes en los gases de fermentación, a esta medida se le llama digestibilidad aparente ya que la real solo se puede estimar *in Vitro*, las pruebas de digestibilidad se realizan con animales a los que se les mide el consumo que está a prueba y las cantidades de las heces que excretaron provenientes de ese alimento. La materia seca del alimento consumido menos la materia seca de las heces, es la digestibilidad aparente del alimento.

Las pruebas de digestibilidad son costosas puesto que requieren de animales, alimento suficiente, mucho tiempo y personal calificado por lo que se pensó en la utilización de pruebas de laboratorio. Estas pruebas de laboratorio estiman la digestibilidad del forraje por diferentes métodos, uno

de ellos es medir los componentes químicos de los alimentos por el método de Van Soest, y aplicando una ecuación mediante la cual se puede conocer la digestibilidad de la materia seca del forraje (Sosa, 1974).

2.16 Técnica *in Vitro*

Esta técnica se basa en dos etapas. En la primera se realiza una fermentación microbial de la muestra en estudio en líquido ruminal utilizado como inóculo, la segunda etapa es comparativa a lo que sucede en el abomaso, en medio ácido (Llamas y Tejada, 1990).

Van Soest (1994) dice que la secuencia de todos los procedimientos *in Vitro* del rumen, es una fermentación anaerobia de un simple sustrato en un medio y un filtrado de líquido ruminal seguido de una medición final. El medio es usualmente, una solución búfer simulando la saliva del rumiante. A diferencia del rumen, los sistemas *in Vitro* no tiene un abastecimiento continuo de la saliva la cual puede abastecer nitrógeno. El tiempo de la fermentación es comúnmente 48 horas para la estimación de la digestibilidad, aunque otros periodos de tiempo que van de 3 a varios cientos de horas han sido usados para estimar la tasa de fermentación. La toma voluntaria es más relacionada a un valor de 6 horas y la digestibilidad es asociada a un valor de 36 a 48 horas. Extensos períodos son requeridos para mayores magnitudes.

La tasa de digestión ruminal *in Vitro* apoya a la conclusión de que el contenido de pared celular es el principal factor que restringe el consumo; la máxima correlación de digestibilidad *in Vitro* y consumo es a las 6 horas de digestión y a este tiempo de digestión la mayor parte del contenido celular ha desaparecido y muy poca pared celular se ha fermentado (Van Soest, 1994).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio Experimental

Las variedades de cebada, triticale y avena utilizadas en la prueba fueron cosechadas en dos estados de crecimiento (dos cortes a diferente fecha y mezcladas entre sí). Estas fueron cultivadas en el Rancho “El Retiro” ubicado en el municipio de San Pedro de las Colonias en el estado de Coahuila, el cual se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 25°32'N, Longitud: 103°15'W, Altitud: 1100 msnm, con temperatura media anual de: 19 °C, y con una precipitación pluvial media anual de: 200 a 300 mm.

3.2 Análisis de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras se procedió a microensilar utilizando frascos de vidrio con capacidad de un litro. Después de cumplido el término del proceso de ensilaje, las muestras fueron molidas y se procedió a su análisis utilizando la técnica de Tilly y Terry (1963).

3.3 Procedimiento experimental

A continuación se describe la técnica utilizada para la determinación de la digestibilidad *in Vitro* de la materia seca de los forrajes en este caso ensilaje de cebada como cultivo a evaluar además de los cultivos de avena y triticale como testigos. La muestra ensilada se somete a fermentación anaeróbica con líquido ruminal y posteriormente a una digestión de pepsina.

Material utilizado

1.- Molino de cuchillas con cribas de 1 mm. El uso de cribas de mayor apertura deprime la digestibilidad *in Vitro* por lo tanto todos los forrajes y los estándares deben ser pasados en esa criba.

- 2.- Jeringa automática de 50 ml.
- 3.- Tubos de polietileno de 120 a 40 mm de diámetro tapados con tapones de válvula Bunsen acondicionado.
- 4.- Baño con temperatura controlada a 39° C.
- 5.- Papel Whatman 42 para filtrar (sin cenizas).
- 6.- Crisoles de porcelana.

Reactivos utilizados

a) Saliva de Mc Dougal. (Solución 1)

Na ₂ HPO ₄ anhídrido	3.7 g
NaHCO ₃	9.8 g
Agua destilada	100.0 ml.

(Solución 2)

NaCl	4.7 g
KCl	5.7 g
CaCl ₂	0.4 g
MgCl	0.6 g

La solución amortiguadora se prepara adicionando 10 ml. de la solución 2 a un litro de la solución 1; se agita la mezcla con agitador durante 15 minutos; durante ese tiempo se le burbujea CO₂ hasta que el pH sea de 6.7 a 7.0.

La relación líquido ruminal- saliva debe ser de 1:4.

b).- Solución de pepsina acida. Disolver 2.4 g de pepsina en un litro de ácido clorhídrico 0.1 N.

c).- Inoculante. Obtener el contenido ruminal de becerros fistulados. Conservar el líquido caliente y tapado, filtrar rápidamente a través de una gasa recogiendo en un recipiente precalentado. Adicionar 250 ml de líquido por cada litro de amortiguador a 40° C. (relación 1:4).

3.4 Procedimiento

- 1.- Pesar en la balanza analítica 0.5 g de forraje secado al aire depositarlo en un tubo de 100 ml, realizar 4 pesadas de cada muestra.
- 2.- Separar cuatro tubos que servirán de blancos; (el blanco se procesa exactamente igual que el problema, excepto que no lleva muestra).
- 3.- Adicionar 50 ml de saliva de Mc Dougal, tapar todos los tubos con el tubo serológico, el cual debe estar el cual debe estar a 39° C, después de haber colocado con todas las muestras en el baño, agitar ligeramente cada una, esta agitación debe hacerse mínimo 2 veces al día.
- 4.- Incubar a 39° C durante 48 horas.
- 5.- Pasado este tiempo suspender la incubación y refrigerar por 30 minutos.
- 6.- Centrifugar de 2000 a 3000 rpm por 10 minutos y decantar.
- 7.- Adicionar al residuo de la digestión con liquido ruminal 50 ml de pepsina a 40° C, tapar los tubos e incubar 48 horas a 39° C.
- 8.- Después de la incubación, filtrar el contenido del tubo a través de un papel filtro No. 42 previamente pesado y secado a 50° C.
9. Lavar con agua destilada.
- 10.- Retirar el papel filtro con el residuo, depositarlo en un crisol de porcelana previamente pesado y secar con la estufa entre 100 y 105 ° C hasta peso constante.
- 11.- Colocar el crisol de porcelana con el contenido en el desecador, enfriar y pesar.
- 12.- Incinerar la mezcla a 500° C durante 3 horas.
13. Por separado determinar el porcentaje de la digestibilidad in Vitro de la materia seca y materia orgánica.

Cálculos:

- A. Peso secado al aire de la muestra =0.5 g.
- B. % M.S.T.
- C. % M.O.
- D. Peso de crisol vacío o papel.
- E. Peso crisol + (residuo o papel + residuo).
- F. Peso de crisol + cenizas.

G. % M.S. inicial $\frac{AxB}{100}$ g.

H. Materia seca de residuo de la muestra.

I. Materia seca residual del blanco x de los cuatro tubos.

E-D

Digestibilidad in Vitro de la materia seca (%):

$$\frac{G - (H - I)}{100} \times 100$$

J. Materia seca inicial g.

$$\frac{G(C)}{100}$$

K. Materia orgánica residual de la muestra:

$$E - F = g$$

Digestibilidad in Vitro de la materia orgánica:

$$\frac{J - (K - L)}{J} \times 100$$

% M.O.

% M.O. base seca = % materia seca % cenizas base seca.

3.5 Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con igual número de repeticiones. Además, se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$) usando el programa S.A.S. para dichos análisis.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 4.1 se muestran los resultados encontrados, en éste se observa que se presentó diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) para todas las variables estudiadas: proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina (LIG) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). En virtud de que en todas las variables se observó diferencia estadísticamente significativa, se procedió a correr la prueba de medias mediante Tukey con un α al 0.05.

Cuadro 4.1. Perfil nutricional de dos variedades de cebada

<i>Variedad</i>	<i>P.C.</i>	<i>E.E.</i>	<i>F.C.</i>	<i>F.D.N.</i>	<i>F.D.A.</i>	<i>LIGNINA</i>	<i>DIVMS</i>
<i>Cebada Narro 95</i>	12.05 b	2.30 b	29.59 a	62.19 b	42.52 b	7.37 a	60.44 b
<i>Cebada Narro 221</i>	13.95 a	3.01 a	25.31 b	62.61 b	39.25 b	5.46 b	64.73 a
<i>Avena Cuauhtémoc</i>	13.45 a	3.06 a	32.96 a	60.09 b	41.22 b	5.36 b	63.58 a
<i>Triticale Eronga</i>	11.95 b	2.45 b	31.26 a	69.37 a	44.98 a	3.39 c	65.66 a

Proteína Cruda

El ensilado de cebada Narro 221 y la avena Cuauhtémoc presentaron los mejores porcentajes de proteína (13.95 y 13.45, respectivamente), superando a la cebada Narro 95 y triticale Eronga (12.05 y 11.95, respectivamente) Estos resultados demuestran que ambas líneas de cebada representan una buena alternativa en cuanto a proteína se refiere, incluso la variedad Narro 221 presenta un porcentaje superior a la avena comercial.

Extracto Etéreo

En cuanto a extracto etéreo, los ensilados se comportaron de manera semejante a los resultados de proteína siendo la cebada Narro 221 y la

avena Cuauhtémoc los que presentaron los mejores porcentajes de grasa (3.01 y 3.06, respectivamente), superando a la cebada Narro 95 y triticale Eronga (2.30 y 2.45, respectivamente).

Fibra Cruda

Para el caso del contenido de fibra cruda, la cebada Narro 221 fue inferior (25.31%) a los otros tres ensilados (cebada Narro 95: 29.59, avena Cuauhtémoc: 32.96 y triticale Eronga: 31.26%). Al hablar de un contenido inferior de fibra cruda no significa que se tenga menor calidad, al contrario, si su concentración de fibra es bajo esto puede tener una buena relación con su mayor contenido de otros nutrientes y así mismo con su digestibilidad.

Fibra en Detergente Neutro

Por otra parte, el contenido de fibra en detergente neutro fue superior solo en el triticale Eronga (69.37%), superando al resto de los forrajes ensilados que presentaron valores mucho más bajos que éste (cebada Narro 95: 62.19, cebada Narro 221: 62.61 y avena Cuauhtémoc: 60.09%).

Fibra en Detergente Ácido

Algo semejante ocurrió en cuanto al contenido de fibra en detergente ácido, siendo superior solo en el Triticale Eronga (44.98%), superando al resto de los forrajes ensilados, que presentaron valores mucho más bajos que éste (cebada Narro 95: 42.52, cebada Narro 221: 39.25 y avena Cuauhtémoc: 41.22%).

Lignina

En el caso de la lignina, el forraje con mayor contenido fue la cebada Narro 95 (7.37%) seguido por cebada Narro 221 y avena Cuauhtémoc (5.46 y 5.36 %, respectivamente), mientras que el forraje con el menor contenido de todos fue el triticale Eronga (3.39%).

Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca

Finalmente, el resultado de la prueba de digestibilidad in vitro de la materia seca mostró que tres de los forrajes obtuvieron muy buen coeficiente de digestibilidad: cebada Narro 221 (64.73%), avena Cuahutemoc (63.58%) y triticale Eronga (65.66%), superando a la cebada Narro 95 (60.44%).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis inicialmente planteada y los resultados obtenidos en la investigación, en donde se somete a la evaluación el análisis bromatológico y la digestibilidad *in Vitro* de la materia seca en los ensilados de dos variedades cebada forrajera imberbe, utilizando como testigos variedades de avena y triticale, utilizadas en el análisis bromatológico y la prueba de digestibilidad. Se concluye que los ensilados sometidos a prueba representan una buena opción forrajera para el norte de México, ya que cuentan con un buen contenido de nutrientes, principalmente proteína y un buen coeficiente de digestibilidad. Además se concluye que la variedad de cebada Narro 221 puede ser la mejor alternativa forrajera de entre las cuatro estudiadas, ya que su alto contenido de proteína y grasa, junto con su buen porcentaje de fracciones de fibra entre ellas su bajo nivel de lignina, y su buen coeficiente de digestibilidad, hacen que sea el mejor de estos forrajes ensilados y que pudiera emplearse a la par de los forrajes comerciales e incluso en sustitución total de estos.

LITERATURA CITADA

- Bertoia L. 2004. (En línea), Algunos conceptos sobre ensilaje. En: <http://mejorpasto.com.ar/UNLZ/2004/TX3.htm> (Consulta 15 oct. 2008).
- Bolletta, A.I, Lagrange, S.P. Giménez, F.J. y Tomaso, J.C. 2007. Rendimiento y valor nutritivo de silajes de verdes de invierno en grano lechoso. INTA EEA Bordenave, Bs. As., Argentina.
- Cantú, B. J. E. 1989. Apuntes de cultivos forrajeros. Departamento de fitomejoramiento. UAAAN Unidad Laguna. Torreón Coahuila, México.
- C.I.C., 2007. (En línea). Consejo internacional de Cereales.
- Colin, R.M., A.J. Lozano, G. Martínez, V.M. Zamora, J.T. Santana y V. M. Méndez, 2004. Producción de materia seca de líneas de cebada forrajera imberbe en cuatro ambientes y correlaciones entre algunos componentes del rendimiento de forraje Resultados de investigación 2003, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Colín R., M., V.M. Zamora V., A.J. Lozano del R., G. Martínez Z. y M.A. Torres T. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada para el norte y centro de México. *Téc Pec. Méx.* 45 (3): 249-262.
- Elizalde F., 2005. (En línea), Efectos del sistema de cosecha de ensilaje, En: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S03658072005000300005&script=sci_arttext&tln=es
- Flores, M. J. A. 1990. Bromatología animal. Tercera edición. Quinta reimpresión. Editorial Limusa, S.A. México. D.F. pp. 41, 42, 598, 599, 691.

- García, C.E. 1989. Evaluación del rendimiento de grano y sus componentes en Triticale (X. Triticosecale) en la región de Navidad N. L. México. Ciclo 87 – 88. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista. Saltillo. Coahuila. México.
- Goic, M. I. E; L. M. Hiriart. 1981. Estimación de la calidad nutritiva de los ensilajes en la región de los lagos, Boletín técnico número, 48, INIA, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. Pág. 115.
- Hernán F. E. y A. M. Menéndez. 2004. Evaluación de ensilaje de cereales de grano pequeño, sobre la producción de leche de vacas overo colorado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones Tamei Aike, Casilla 296, Coyhaique, Chile.
- Hiriart, L.M., Ensilados procesamiento y calidad. México, Trillas 1998. Págs.98.
- Hobson, P. N. y C. S. Stewart. 1998. The Rumen Microbial Ecosystem. Blackie Academic & Professional, New York., pp 719.
- Juscafresca, B. 1983. Forrajes: Fertilizantes y valor nutritivo. Segunda Edición. Editorial AEDOS. Barcelona, España. Pp. 86-169.
- Juskiw, P.E., J.H. Helm, y D.F. Salmon. 2000. Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. Crop Sci. 40: 138 – 147.
- Jouany, J.P.,1994. Methods of manipulating the microbial metabolism in the rumen. Ann Zootech. 43:49-62.
- Kjos, N.P. 1990. Evaluation of the feeding value of fresh forages, silage and hay using near infrared reflectance analysis (NIR). I. A comparison of different methods for predicting the nutritive value. Norw. J. Agric. Sci. 4:305-320.
- Llamas, L. G. y Tejada, 1990. Técnicas de laboratorios para el análisis de forrajes para rumiantes. Manual de técnicas de investigación en ruminología. Sistemas de educación continua en producción animal en México. A.C.

patronato de apoyo a la investigación y experimentación pecuaria en México.
A.C. ed. Consultores en producción edición. México D.F. pp. 38

Mc Cartney, D. H., and A.S. Vaage. 1994. Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silages. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 91-96.

Minson, J. D., 1982 Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. *Nutr. Abstr. Rev. Series B.* 52:591-615.

National Research Council, 1996. .Nutrient requirements of beef cattle (Seventh Ed.). National Academy Press, Washington, D.C

Obispo, N. E. 2005. Instituto de Investigaciones Agrícolas. Primer curso internacional sobre los avances en la nutrición de los rumiantes. Aragua, Venezuela.

Poelhman, J. M. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. México.

Poland, W. H. Peterson, R. Ashley and L. Tisor, 2004. Effect of species and varietal type on gied and Nutritional Quality of Small Grain Forage. *Proceedings, Wertern Section. American Society of Animal Science, Vol.55.*

Robles, S. R.1990. Producción de granos y forrajes. 5º Ed. Limusa. México.664 Pp.

SAS Institute 1988. SAS users guide: Statistics Version 6.03, ed. SAS institute, Cory N.C.

Sosa, M.E.1974. Manual de Procedimientos Analíticos para Alimentos de Consumo Animal. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Tilley, M.A. y R.A. Terry, 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal ofthe British Grassland Society* 18: I04-II1.

Ushida, K., Kayouli C, De Smet S., Jouany, J.P. 1990 Effect of defaunation on protein and fibre digestion in sheep fed ammonia-treated straw-based diets with or without maize. Br. J. Nutr. 64:765-775.

Van Soest P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2^a edición. Cornell University. Pp.7-22, 167-168.

Warren, H. L. and J.H. Martin,1970. Cereal Crops. 4^a reimpresión. The Mc Millon.Londres Inglaterra. Pp. 478-543.

