

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO



INGENIERÍA AGRONÓMICA

Proyecto de Trabajo Final de Carrera:

***“Conservación y caracterización de forraje ensilado de amaranto,
(Amaranthus cruentus) cultivado en el Valle Inferior de Río Negro (VIRN)”***

Estudiante: Julián Agustín Repupilli

Directora: Dra. María Lucrecia Piñuel

Co-Directora: Dra. María Fany Zubillaga

Año: 2019

A mis padres, Severino y Susana.
A mis hermanos, Luciano y Adrian.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Río Negro que me brindó la oportunidad de estudiar esta hermosa profesión que es la Agronómica.

A mis directoras, Dra. Maria Lucrecia Piñuel y la Dra. Maria Fany Zubillaga, por estar siempre predispuestas ante cualquier duda, acompañarme y aconsejarme siempre que lo necesité. Son las directoras que cualquier tesista quisiera tener.

Al Lic. Sergio Eduardo Quichán, por ayudarme en el proceso y brindarme sus consejos y apoyo siempre que lo requerí.

Al bedel de la universidad, Gladio Parra quien me acompañó todos estos años entre mates y charlas.

Al Lic. Adrian Amerio bibliotecario de la universidad, siempre tuvo un consejo o palabra de aliento cuando lo necesite.

A Ing. Agr. (Mg) Mario Villegas, director de la carrera Ingeniería Agronómica por su ayuda.

A la Estación Experimental Valle Inferior de Río Negro (EEAVI-INTA), por permitir la realización de este trabajo en sus instalaciones.

A los profesionales del área de Forrajes y Producción Animal EEAVI, a quienes acudí muchas veces durante el proceso y siempre respondieron de la mejor manera y sobre todo con buen humor.

A Marcos Tarqui, que me ayudo con los trabajos a campo.

A la familia Tolosa, especialmente a Victor Ruben Tolosa y Elsa Noemi Cabrera quienes me brindaron todo su apoyo y afecto a lo largo de la carrera y desde siempre.

A mi familia que siempre me motivó y acompañó durante toda la carrera. Principalmente a mis padres Severino y Susana por dar todo para que pudiera estudiar y formarme.

A Eliana mi cable a tierra y quien siempre estuvo a mi lado cuando más la necesité.

A mis amigos y compañeros que hice a lo largo de la carrera y quienes también compartí largas jornadas de estudio.

A todas las personas que de una forma u otra me han ayudado, motivado y alentado a lo largo de la carrera.

Indice de Contenido

TÍTULO	6
RESUMEN	6
SUMMARY	8
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
METODOLOGÍA.....	16
1. Localización	16
2. Siembra y manejo del cultivo.....	18
3. Tratamiento del material vegetal previos al proceso de ensilaje.....	20
3.1 Pre-oreado de plantas de Amaranto	20
3.2 Agregado de bacterias lácticas	21
4. Proceso de ensilado	22
5. Caracterización organoléptica del forraje	23
6. Determinación de parámetros relacionados al procesamiento y conservación del forraje.....	24
6.1 Tamaño de picado	24
6.3 Materia Seca (% MS)	24
6.4 Determinación de pH.....	24
7. Determinación de parámetros relacionados con la calidad nutricional del forraje .	25
7.1 Cenizas.	25
7.2 Proteína Bruta (%PB).....	25
7.3 Fibra de Detergente Neutro (FDN) y Fibra en Detergente Ácido (FDA).	25
7.4 Digestibilidad de la MS (DMS).	25
7.5 Energía Metabolizable (EM).....	26
8. Análisis estadístico de los datos	26
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
1. Determinación de parámetros relacionados con la calidad nutricional del forraje previo al ensilado.....	27
2. Tamaño de partícula del material a ensilar	28
3. Caracterización organoléptica del material ensilado.....	29
4. Determinación de parámetros relacionados al procesamiento y conservación del forraje.....	31
5. Determinación de parámetros relacionados con la calidad nutricional del forraje .	33

5. 1. Contenido de cenizas.....	33
5. 2. Contenido de proteína bruta.....	34
5. 3. Contenido de Fibra, Digestibilidad y Energía Metabolizable	35
CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFIA.....	39

Índice de Tablas

Tabla 1: Evaluación de las características organolépticas de silos de maíz (Gutiérrez, 2009).....	23
Tabla 2 :Parámetros nutricionales asociados a la calidad del forraje previos al ensilaje	28
Tabla 3: Caracterización organoléptica de los diferentes tratamientos evaluados	30
Tabla 4: Parámetros asociados al procesamiento y conservación del forraje. .	32
Tabla 5: Relación entre el contenido de MS y pH para la evaluación de silajes	33

Índice de Figuras

Figura 1: <i>Amaranthus cruentus</i> cv Mexicano en VIRN	13
Figura 2: Vista satelital del Valle Inferior de Río Negro.	17
Figura 3: Vista satelital de la Estación Experimental Valle Inferior INTA. Localización del cultivo.	17
Figura 4: Riego pre siembra.....	18
Figura 5: Sembradora hortícola de carretilla.	19
Figura 6: Cultivo de amaranto en estado vegetativo.	19
Figura 7: Oreado de plantas de amaranto a campo	21
Figura 8: Aplicación de inoculo de bacterias lácticas.	21
Figura 9: Proceso de ensilado del material forrajero	22
Figura 10: Diferencias de coloración del material vegetal utilizado: a) material vegetal sin orear (T1) y b) material vegetal oreado (T2).....	27
Figura 11: Distribución de tamaño de partícula del material verde previo al proceso de ensilaje, (■) T1 material vegetal sin ensilar y (■) T2: material vegetal oreado sin ensilar.....	29
Figura 12: Contenido de cenizas para los diferentes tratamientos evaluados.	34
Figura 13: Contenido de proteína para los diferentes tratamientos evaluados.	35
Figura 14: Contenido de fibra, energía metabolizable y digestibilidad de la materia seca para los diferentes tratamientos evaluados.....	36

TÍTULO

Conservación y caracterización de forraje ensilado de amaranto, (Amaranthus cruentus) cultivado en el Valle Inferior de Río Negro (VIRN)

RESUMEN

En los últimos años el amaranto se ha transformado en un cultivo de interés para la dieta humana y esto se atribuye fundamentalmente a la alta calidad nutricional de su grano. Asimismo, se han hallado evidencias que destacan su potencial como fuente de alimento para animales ya sea como grano o forraje. La utilización de amaranto con destino a forraje se realiza en áreas marginales en la mayoría de las regiones del mundo. Estudios previos desarrollados en el Valle Inferior de Río Negro demuestran la adaptación del cultivo a las condiciones agroclimáticas del sitio y su potencial productivo. Sin embargo, todos los estudios realizados centran su atención en la producción de grano sin considerar la importante producción de biomasa y la calidad de la misma. Debido al déficit de productividad invernal de las pasturas locales, los productores ganaderos del valle deben buscar cultivos alternativos para cubrir esta necesidad. En este sentido, dadas las destacadas cualidades productivas y nutricionales del cultivo de amaranto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el mismo, como forraje conservado por la técnica de ensilaje. Para ello, se realizaron diferentes tratamientos en el material vegetal previo al ensilaje como el oreado de las plantas y agregado o no de bacterias lácticas. Sobre el material vegetal sin ensilar y ensilado se evaluaron: características organolépticas (olor, color y textura), parámetros relacionados al procesamiento y conservación del forraje (tamaño de picado, materia seca (MS%) y pH) y parámetros relacionados a la calidad nutricional: cenizas, proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente acida (FDA), digestibilidad de la materia seca (DMS) y energía metabolizable (EM). Todos los tratamientos evaluados mostraron atributos organolépticos que se corresponden con un ensilaje "bien fermentado". Sin embargo, el tratamiento simultáneo de oreado y agregado de bacterias lácticas previo al ensilaje, presentó las mejores características de calidad nutricional del silo obtenido. Entre los resultados más

importantes se pueden destacar valores de cenizas y proteínas de 13% y 12,7 % respectivamente, la FDN fue 41,1% y la FDA 19,1%. La DMS mostró valores 74% y la EM fue de 2,67 Mcal/kgMS. De esta manera se pudo concluir, que el cultivo de *Amaranto cruentus* en el VIRN puede ser una alternativa productiva para la producción de forraje ensilado.

Palabras claves: Amaranto, reserva forrajera, ensilaje, inóculo, bacterias lácticas, oreado, calidad.

TITLE

Conservation and characterization of amaranth silage forage (*Amaranthus cruentus*) cultivated in the Lower Valley of Rio Negro (VIRN).

SUMMARY

In recent years, amaranth has become a crop of interest to the human diet and this is mainly attributed to the high nutritional quality of its grain. In addition, has been found evidence that highlights its potential as a source of animal feed either as grain or fodder. The use of amaranth for forage is carried out in marginal areas in most regions of the world. Previous studies carried out in the Valle Inferior de Río Negro demonstrated the adaptation of the crop to the agroclimatic conditions of the site and its productive potential. However, all the studies carried out are focused on the production of grain without considering the important biomass production and its quality. Due to the deficit of winter productivity of the local pastures, livestock producers of the valley need to find for alternative crops to cover this need. In this sense, given the notable productive and nutritional qualities of amaranth cultivation, the aim of this work was to evaluate it, as forage conserved by the silage technique. For this, different treatments were carried out on the plant material prior to silage, such as pre-dried of plants and aggregate or not of lactic bacteria. On the non-silage and silage plant material were evaluated: organoleptic characteristics (odor, colour and texture), parameters related to the processing and conservation of the forage (size of chopped, dry matter (DM%) and pH) and parameters related to nutritional quality: ashes, crude protein (PB %), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), dry matter digestibility (DMD) and metabolizable energy (ME). All the treatments evaluated showed organoleptic attributes that correspond to "well fermented" silage. However, the simultaneous treatment of pre-dried and aggregate of lactic bacteria prior to silage, presented the best nutritional quality characteristics of the silo obtained. Among the most important results, it is possible to highlight ashes and proteins values of 13% and 12,7% respectively, the NDF was 41,1% and the ADF 19,1%. The DMD showed 74% values and the DM was 2,67 Mcal/kgDM. In this way it could be concluded that

the cultivation of *Amaranth cruentus* in the VIRN could be a productive alternative for silage forage production.

Keywords: Amaranth, forage reserve, silage, inoculum, lactic bacteria, oreing, quality.

INTRODUCCIÓN

La producción animal se basa fundamentalmente en la utilización del forraje verde como insumo esencial. Uno de los principales problemas que afronta un establecimiento ganadero en el Valle Inferior de Río Negro, es la falta de alimento debido a la estacionalidad de la oferta forrajera durante el año. Esta depende de las características de crecimiento del forraje utilizado, de las condiciones climáticas y de las plagas y enfermedades que lo ataquen. Estos factores hacen que la disponibilidad sea alta en los meses de primavera y verano, mientras que en los meses de otoño e invierno la disponibilidad es insuficiente (Uset & Lazzaro., 2009).

Con el objetivo de asegurar la oferta forrajera en calidad y cantidad se utilizan entre otros alimentos, los forrajes conservados. Estos son una herramienta fundamental en todo planteo ganadero intensivo o semi-intensivo así como también en sistemas de engorde a corral o confinado. Los métodos tradicionales de conservación de forrajes son los henificados, henolados y ensilados (Carillo, 2003). Si bien estos métodos persiguen el objetivo de preservar el forraje, difieren en la naturaleza de sus procesos, el material a conservar y la presentación del mismo (Bragachini., 2015). La henificación es un proceso de deshidratación físico por el cual las pasturas son conservadas, el producto final es un fardo o rollo. Un ensilaje es una fermentación anaerobia de los carbohidratos solubles, este proceso es una conservación química del forraje. Esta técnica, por lo general, es utilizada en plantas de gran potencial de crecimiento como puede ser el maíz y el sorgo. La presentación final es un silo bolsa. El henolaje es un proceso intermedio entre los mencionados anteriormente, consta de una deshidratación parcial seguido de una fermentación. Es un proceso físico químico de conservación destinado a pasturas, las cuales se presentan empaquetadas en bolsas

El ensilaje es una técnica de conservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas de ácido láctico fermentan los carbohidratos hidrosolubles 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 (Ruíz

Alzate *et al.*, 2006). De esta manera, el forraje que se ensila experimenta una serie de transformaciones como consecuencia de la acción de las enzimas de la planta y de los microorganismos presentes en la superficie foliar o que puedan incorporarse voluntariamente (aditivos) o accidentalmente (contaminación con suelo) (Cañete & Sancha, 1998). Así, tras un período de tiempo que varía entre las 24 y 48 horas aparecen bacterias que transforman los azúcares en ácido láctico que ayuda a bajar el pH más rápidamente. El proceso fermentativo sucede entre el tercer y quinto día y a partir de allí hasta el día 21 de la conservación, el ácido se va acumulando en cantidades crecientes al tiempo que el forraje se hace cada vez más inhabitable para otras bacterias (Mier Quiroz, 2009). Particularmente en silajes de amaranto, para lograr la estabilidad del material, el proceso se continua por un periodo de 45-60 días (Rezaei *et al.*, 2009; Acevedo *et al.*, 2010). Si durante este período se ha producido suficiente cantidad de ácidos como para llevar el pH a valores de 4,5 o inferiores, existe la garantía de que el forraje se conservará perfectamente por un período indefinido de tiempo, con un valor nutritivo semejante al que poseía al ser puesto en el silo. La calidad final del ensilado depende tanto de las materias primas como de la aplicación adecuada de la técnica (Mier Quiroz, 2009).

Una práctica común en el proceso de ensilaje, es el empleo de aditivos para mejorar el proceso de conservación y el valor nutritivo del alimento. Existen varias clasificaciones de aditivos, según Argamentería y colaboradores (1997), básicamente, estos pueden ser químicos o biológicos.

Algunos autores destacan que se puede mejorar el valor nutricional del silo con el uso de inoculantes bacterianos (De la Rosa, 2005; Mier Quiroz, 2009). Estos contienen bacterias productoras de ácido láctico que se agregan a la población bacteriana natural para ayudar a garantizar una fermentación rápida y eficiente, con una rápida disminución del pH dentro del silo. Además, la adición de bacterias lácticas, resulta en una disminución de bacterias patógenas en el intestino de los animales, así como una disminución en la producción de metano, entre otros beneficios (O'Doherty *et al.*, 1997; Phipps *et al.*, 2000). De este modo, se mejora el crecimiento y la conversión alimenticia, además de incrementar la digestibilidad de la fibra (Galina *et al.*, 2007).

Otra técnica muy utilizada a la hora de confeccionar un ensilaje es la de orear el material. Esta herramienta surge como consecuencia de las dificultades que se encontraron al ensilar plantas forrajeras con valores elevados de humedad (Brero, 1978). Este procedimiento, consiste en cortar el forraje y dejarlo secar en el terreno por 24 a 48 horas, para luego recolectarlo y ensilarlo con menor contenido de humedad. El aumento en el nivel de materia seca se traduce en una mayor concentración de carbohidratos solubles y en una disminución de la capacidad tampón, así se favorece una mejor fermentación (Brero, 1868). Además, se reducen las pérdidas totales de materia seca en el silo, con mejoras, en la mayoría de los casos, del valor nutritivo (Klein, 1991). Según Peñagaricano y colaboradores (1986), los ensilajes premarchitos se estabilizan a valores de pH superiores que los elaborados por corte directo, lo que es favorable para inhibir el crecimiento y acción de bacterias perjudiciales. Además, la producción de efluentes se ve disminuida con el oreado, lo que se traduce en una menor pérdida de nutrientes y menores contaminaciones al medio ambiente (Thomas & Golightly, 1983). Principalmente, esta metodología permite controlar el grado de humedad del forraje sin necesidad del agregado de ninguna sustancia y sin perder calidad en el material que se ensila (Brero, 1868).

El amaranto es una dicotiledónea de la familia *Amaranthaceae*, pertenece al género *Amaranthus* que comprende aproximadamente 70 especies, existiendo una amplia variabilidad genética entre éstas (Seguin *et al.*, 2013). Este género se caracteriza por presentar plantas herbáceas, de ciclo anual, que pueden alcanzar los 2,5 m de altura (Figura 1). El tallo presenta un solo eje central con ramificaciones desde la base hacia el ápice (Mazón *et al.*, 2003). Los tallos son erectos, suculentos, su grosor disminuye desde la base al ápice y presentan estrías longitudinales. Las hojas son pecioladas, pueden ser ovales o elípticas de borde entero con disposición opuesta o alterna, de tamaño variable disminuyendo desde la base al ápice, con nervaduras prominentes en el envés (Mujica & Berti, 1997). La raíz es pivotante con abundantes ramificaciones. Es una planta monoica, dioica o polígama con grandes inflorescencias muy vistosas llamadas panojas, las cuales pueden ser terminales o axilares, erectas o decumbentes.

Es una especie C4, lo que le permite una elevada eficiencia en la asimilación de luz y de agua, lograr altas tasas de crecimiento y alcanzar un elevado potencial de rendimiento. Estas características le confieren gran adaptación a numerosas condiciones de clima y suelo con notables rendimientos. Sus requerimientos tecnológicos son bajos y presenta reducida incidencia de plagas y enfermedades (Peiretti *et al.*, 2010). Dicha especie, además de ser utilizada para la alimentación humana puede ser destinada a la alimentación animal, ya sea por la producción de grano de alto valor nutritivo o debido a su alto rendimiento en biomasa.



Figura 1: *Amaranthus cruentus* cv Mexicano en VIRN

En el Valle Inferior del Río Negro se han llevado a cabo numerosos ensayos del cultivo de amaranto, que confirman la adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas locales con destacados rendimientos económicos, biológicos y de calidad nutricional. *Amaranthus cruentus* cv Mexicano ha sido el material genético que presentó las mejores características morfológicas y productivas para la región (Zubillaga, 2017).

El valor nutritivo del amaranto como forraje, es similar al de otros cultivos utilizados comúnmente. La calidad nutricional varía en función de la etapa del desarrollo (Rezaei *et al.*, 2009). En estadios cercanos a la madurez del cultivo la calidad nutricional disminuye debido al incremento de la fracción fibra y a la reducción del contenido de proteína. Otros autores, destacan el importante valor nutricional del forraje de amaranto debido a los altos porcentajes de

proteína cruda (8-29%), bajos valores de lignina (1,7-7,3%) y alta digestibilidad in vitro (59-79%) (Sleugh *et al.*, 2001, Písaříková *et al.*, 2007; Rezaei *et al.*, 2009).

La técnica de ensilado ha sido estudiada para este cultivo (Rezaei *et al.*, 2009; Seguin *et al.*, 2013; Rezaei *et al.*, 2014) sin embargo, existen diferencias en los resultados obtenidos asociados a las variedades utilizadas, momento de corte, metodología de elaboración del ensilado y en el uso de aditivos, entre otras. Es relevante señalar la falta de información a nivel nacional y local en la utilización de amaranto como forraje. En este sentido, la destacada respuesta productiva del cultivo de amaranto en VIRN y sus características nutricionales plantearon el desafío de evaluar el comportamiento del mismo como forraje conservado por la técnica de ensilado.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo fue evaluar la técnica de ensilaje con plantas de *Amaranthus cruentus* cv Mexicano cultivado en el VIRN y determinar la calidad nutritiva del forraje obtenido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto del pre oreado de las plantas de *Amaranthus cruentus* cv Mexicano, previo al proceso de ensilaje
- Evaluar el efecto del agregado de bacterias lácticas en el proceso de ensilaje de *Amaranthus cruentus* cv Mexicano
- Caracterizar la calidad nutricional del forraje obtenido a partir de plantas de *Amaranthus cruentus* cv Mexicano

METODOLOGÍA

1. Localización

El Valle Inferior del río Negro, también conocido como Valle de Viedma o Valle del IDEVI, está ubicado en la Provincia de Río Negro, sobre la margen sur del río Negro. Abarca más de 80.000 ha en una franja aproximada de 100 km de largo por 8 km de ancho, desde la Primera Angostura, cercana a la localidad de Guardia Mitre, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico (Figura 2). Su centro urbano es la ciudad de Viedma. Topográficamente el valle presenta una llanura con suave pendiente hacia el mar y una altitud media de 4 msnm, con algunas depresiones que no sobrepasan los 2 m. La zona agrícola bajo riego del Valle Inferior de Río Negro se encuentra localizada en el denominado proyecto IDEVI (Instituto de Desarrollo del Valle Inferior), que corresponde a un área de 18.500 ha sistematizadas para el riego superficial y organizada en explotaciones cuya superficie varía entre las 30 y 120 ha (IDEVI, 2010). El río y el mar actúan como moderadores de los valores térmicos de la región, como resultado el valle inferior tiene un clima semiárido y mesotermal. La precipitación media es de 391 mm/año, razón por la cual los cultivos requieren riego artificial. De acuerdo a los registros históricos la temperatura media mensual es de 14°C y la amplitud térmica hace a la zona adecuada para el desarrollo de una amplia variedad de cultivos. El período libre de heladas es de 164 días y las fechas medias de primera y última helada son el 1° de mayo y el 12 de octubre respectivamente.

Dentro del valle se encuentran dispersas quince series de suelos con variaciones texturales que van desde finas a gruesas con distinto grado de afección de sales como consecuencia de intrusiones marinas que incidieron en el origen de los suelos (Masotta, 1970).



Figura 2: Vista satelital del Valle Inferior de Río Negro.

El presente proyecto fue realizado en el predio de la Estación Experimental Valle Inferior INTA, cuya posición geográfica es: Latitud: $40^{\circ} 47'46.86''$ S; Longitud: $63^{\circ} 3'23.12''$ O (Figura 3). En este establecimiento los suelos pertenecen a la serie Chacra, de textura arcillosa a franco-arcillolimoso, de relieve plano a ligeramente deprimido, con drenaje imperfecto a moderadamente bien drenado. Las sales solubles y el sodio intercambiable se concentran en los horizontes superiores. El material calcáreo y/o yeso se encuentra en proporciones variables generalmente por debajo de los horizontes afectados por sales (Masotta, 1970). El sitio experimental cuenta a su vez con buena disponibilidad hídrica de calidad para efectuar los riegos necesarios durante el ciclo del cultivo.



Figura 3: Vista satelital de la Estación Experimental Valle Inferior INTA. Localización del cultivo.

2. Manejo del cultivo

Las labores culturales realizadas previas a la siembra consistieron en una pasada de rastra pesada, dos pasadas de cincel, dos pasadas de rastra liviana y el armado de los surcos a 70 cm. Se realizó un riego presiembra (Figura 4) para permitir un leve compactado del suelo que favoreció el armado de los surcos, la acumulación de agua en el perfil y el desarrollo de malezas previo a la siembra para su posterior control. A continuación se realizó la aplicación de herbicida presiembra (glifosato $2,5 \text{ l ha}^{-1}$) para eliminar las malezas y favorecer la emergencia del cultivo.



Figura 4: Riego pre siembra.

Realizadas las tareas antes mencionadas, se delimitó la parcela experimental (10 surcos a 0,70 m y de 50 m de largo) y se procedió a la siembra de la misma. Para ello se utilizó una sembradora hortícola de carretilla (Figura 5) la cual efectuó una siembra a chorrillo con una profundidad no mayor a 1,5 cm. La semilla fue previamente curada con Mancozeb y Metalaxil® para protegerla del ataque de hongos e insectos durante la etapa de germinación.



Figura 5: Sembradora hortícola de carretilla.

Una vez emergidas las plántulas, el control de malezas fue fundamental. El mismo se realizó manualmente hasta que las plantas alcanzaron un porte de 50-60 cm de altura (Figura 6). En este momento se realizaron los raleos necesarios para establecer la densidad de plantas deseada (10-12 plantas por metro lineal) y el aporque de las mismas.



Figura 6: Cultivo de amaranto en estado vegetativo.

Para la aplicación del riego durante el ciclo de cultivo se consideraron los requerimientos del cultivo. Se aplicó una lámina de riego de aproximadamente 100 mm y se realizaron un total de nueve riegos, con una frecuencia de 15 días.

La fertilización se realizó en forma localizada (cerca de la posición de las plantas) fraccionada en dos etapas según lo recomendado por Soto (2003). La primera aplicación fue cuando las plantas presentaron alturas próximas a los 60 cm y la segunda en los inicios de la etapa de floración. El fertilizante utilizado fue urea granulada (46% N) y la dosis incorporada como nitrógeno (N) fue de 90 Kg ha⁻¹. El momento de aplicación del fertilizante se realizó antes de un riego para favorecer la incorporación de la urea al suelo y reducir las pérdidas por volatilización.

Cuando las plantas se encontraron en el estadio de floración avanzada (entre grano lechoso- pastoso y maduro) y valores de materia seca superiores al 20% se procedió al corte de las mismas para la elaboración de los micro silos. Las plantas de amaranto fueron seleccionadas al azar y cortadas manualmente con la ayuda de un machete a una altura de 50 cm por encima de la superficie del suelo.

3. Tratamientos experimentales

Previo al proceso de ensilado se tomaron muestras del material vegetal picado, el cual fue denominado en este trabajo como T1

3.1 Pre-oreado de plantas de Amaranto

Para favorecer la pérdida de humedad del material vegetal hasta valores de materia seca de aproximadamente 35%, se realizó un oreado de las plantas de amaranto en el lote experimental durante 24 h (Figura 7). Para ello, la mitad de las plantas seleccionadas, fueron cortadas y se dejaron en el lote, previo al picado del material y armado de los microsilos. Previo al proceso de ensilado se tomaron muestras del material vegetal picado y oreado el cual fue denominado en este trabajo como T2.



Figura 7: Oreado de plantas de amaranto a campo

3.2 Agregado de bacterias lácticas

Se utilizó una solución de lactosilo comercial (Bemix Plus®), bajo las condiciones de uso recomendadas por el fabricante (2% p/v). La solución de lactosilo se aplicó de manera homogénea con atomizador sobre el material vegetal picado, sin orear y oreado (Figura 8).

De esta manera, quedaron determinados cuatro tratamientos diferentes sobre el material vegetal evaluado en este trabajo:

T3: material vegetal sin orear, ensilado

T4: material vegetal sin orear con agregado de bacterias lácticas ensilado

T5: material vegetal oreado ensilado.

T6: material vegetal oreado con agregado de bacterias lácticas ensilado



Figura 8: Aplicación de inoculo de bacterias lácticas.

4. Proceso de ensilado

Para la elaboración de los microsilos se utilizaron tubos de PVC de 110 mm (11cm) y de 30 cm de longitud. Las plantas fueron corta-picadas mediante la utilización de un molino Thomas Willey hasta un tamaño de material homogéneo (entre 1-3 cm).

El llenado de los microsilos, se realizó colocando capas de material vegetal y se procedió a la compactación del material con una prensa hidráulica (140 kgf) para asegurar que todos los microsilos tuvieran el mismo grado de prensado (Figura 9). Los tubos fueron tapados y sellados para lograr anaerobiosis. Los tratamientos T3, T4, T5 y T6 se realizaron por cuatuplicado. Los microsilos quedaron en condiciones ambientales durante 60 días.

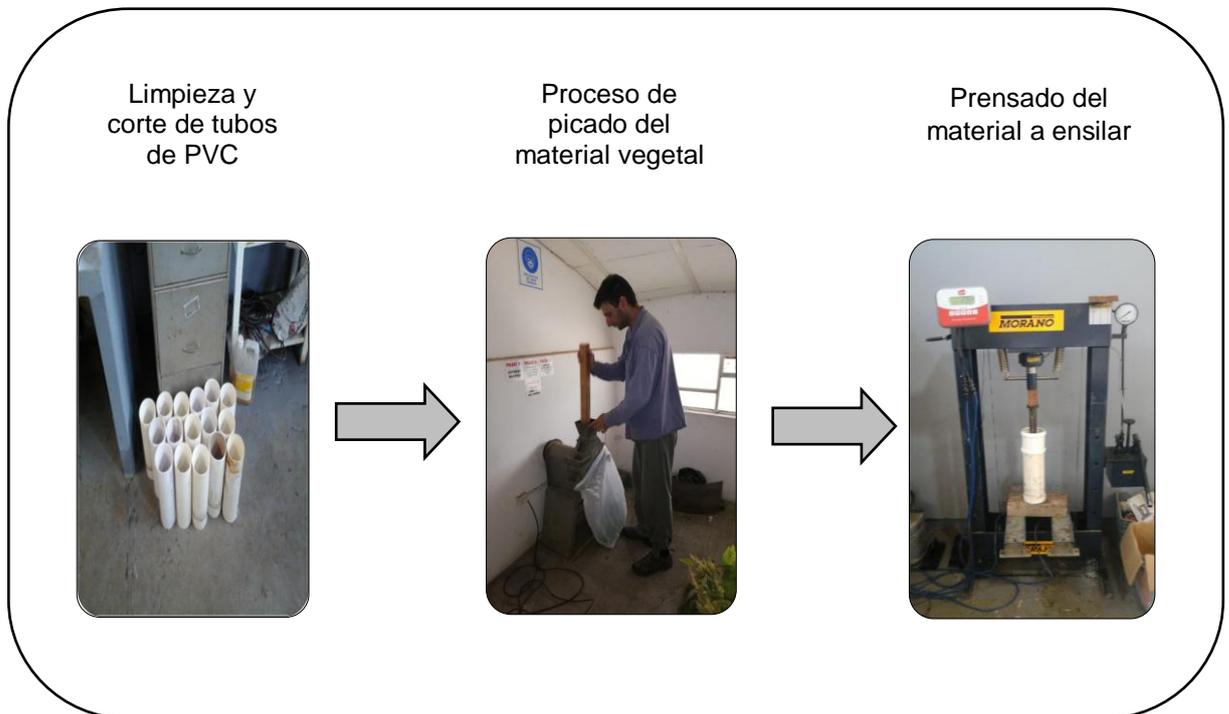


Figura 9: Proceso de ensilado del material forrajero

5. variables evaluadas

5.1 Caracterización organoléptica del forraje

Para la evaluación de las características organolépticas (color, olor, textura y sabor) de cada muestra de silo se siguió la clasificación propuesta por Gutiérrez (2009) y se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Evaluación de las características organolépticas de silos de maíz (Gutiérrez, 2009).

Tipo de silaje	Color	Olor	Textura	Sabor
Bien fermentado	Castaño claro a verdoso	Agradable, avinagrado	No se deshace con facilidad, masa compacta y firme	Amargo y picante
Sobre calentado, caramelizado	Marrón, no hay tonalidad verdosa	Atabacado y agradable	Trozos se desprenden con facilidad	Dulce
Butírico clostridios	Amarronado, Verdeopaco	Olor desagradable	Blanda se desprende con facilidad	Desagradable
Pútrido, fermentación costridial	Oscuro, verde a negro	Desagradable a amoniaco	Blanda a mucilaginoso	Muy desagradable
Alcoholizado, levaduras	Amarronado verde opaco	Alcohol	Trozos se desprenden con facilidad	Alcoholizado
Mohoso	Oscuro con manchas blancas	Rancio	Muy floja	Muy desagradable

5.2 Determinación de parámetros relacionados al procesamiento y conservación del forraje

5.2.1 Tamaño de picado.

Para determinar este parámetro se procedió a tomar una muestra fresca de 100 g de material vegetal sin ensilar. Con la ayuda de un calibre tipo Vernier se midió el tamaño de las distintas partículas que componían las muestras y fueron agrupadas según su longitud.

5.2.2 Temperatura del silo.

Una vez transcurrido el tiempo de ensilaje, se procedió a la apertura de los microsilos y se determinó la temperatura media de los mismos con un termómetro infrarrojo (AMPROBE® IR-710). Luego, se tomó una muestra de aproximadamente 50 g a una profundidad de 15 cm del silo. Cada muestra se colocó en bolsas de polietileno debidamente identificadas y se congelaron a -18°C hasta su uso posterior en el laboratorio. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.2.3 Materia Seca (% MS).

Cada una de las muestras se colocó en estufa a 60°C hasta peso constante. El contenido de humedad del material se determinó por diferencia de peso entre el material fresco y el material seco. El % de materia seca se determinó según la siguiente fórmula:

$$\%MS = (PF - PS) / PF \times 100$$

Dónde: %MS: porcentaje de materia seca; PF: peso fresco de la muestra; PS: peso seco después de sacado de la estufa.

5.2.4 Determinación de pH.

Se determinó el pH del material ensilado con un pHmetro (Foodcare HI99161). Para ello, se utilizó un extracto acuoso en una relación 1:4 (20 g de muestra en 80 ml de agua destilada) se dejó reposar 1 h a temperatura ambiente y luego se midió el pH (Mier Quiroz., 2009).

5.3 Determinación de parámetros relacionados con la calidad nutricional del forraje

Para determinar los parámetros vinculados a la composición química, primero se realizó el secado de las muestras a 60 °C hasta peso constante. Posteriormente se molieron las muestras en un molinillo (ARCANO®).

5.3.1 Cenizas.

Se determinó siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (2000). Se pesó una muestra seca en crisoles de porcelana y se incineró a 550° durante 6 horas. El valor de cenizas se obtuvo por diferencia entre el peso inicial y el peso final después de la incineración.

5.3.2 Proteína Bruta (%PB).

Se determinó el % PB por el método de nitrógeno total por Kjeldhal (AOAC, 1990) y se utilizó el factor de conversión 6.25. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PB} = (A4 * A5 * 1,4 * 6.38) / A1.$$

Dónde: A1: muestra seca sin digerir; A4: ml de ácido clorhídrico utilizados en la titulación; A5: normalidad del ácido clorhídrico.

5.3.3 Fibra de Detergente Neutro (FDN) y Fibra en Detergente Ácido (FDA).

Se siguió la metodología propuesta por la AOAC (2000).

5.3.4 Digestibilidad de la MS (DMS).

La digestibilidad de la MS se estimó a través de la ecuación predictiva de Rohweder (1978).

$$\% \text{ DMS} = 88,9 - (\% \text{ FDA} * 0,779)$$

Dónde: DMS: digestibilidad de MS; 88,9: digestibilidad promedio del silaje de maíz; FDA: fibra detergente ácida; 0,779: factor de corrección en base seca para FDA

5.3.5 Energía Metabolizable (EM).

El contenido energético se determinó según las normas inglesas de alimentación utilizando el %DMS mediante la siguiente fórmula:

$$EM: 3,61 * DMS$$

Dónde: EM: energía metabolizable (Mcal/kg MS); 3,61=4,4 Mcal/kg MS (Energía Bruta) x 82 %(energía digestible menos pérdida por orina); DMS: digestibilidad de MS.

6. Análisis estadístico de los datos

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y para determinar las diferencias entre medias se realizó un test de Fisher (DMS) al 5% de significación. Este análisis fue llevado a cabo a través del programa estadístico INFOSTAT versión estudiantil (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Calidad nutricional del forraje previo al ensilado

En la Figura 10 se observan las diferencias de coloración entre el material vegetal picado sin orear y oreado, T1 y T2 respectivamente. El material oreado presentó un color más opaco y amarronado respecto del material sin orear cuya coloración fue verde brillante. Esta diferencia de coloración podría atribuirse principalmente a la pérdida de agua del material vegetal en el proceso de oreado.

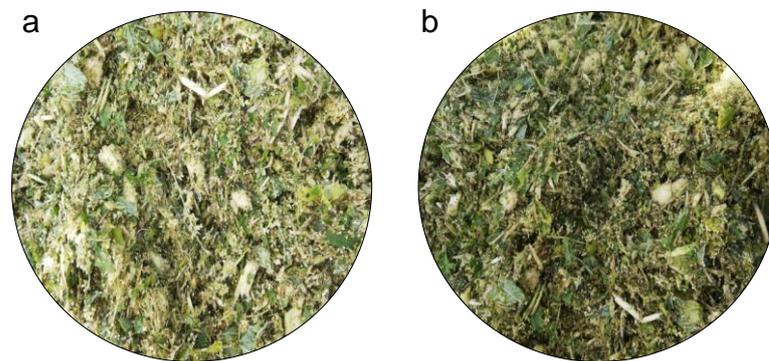


Figura 10: Diferencias de coloración del material vegetal utilizado: a) material vegetal sin orear (T1) y b) material vegetal oreado (T2).

Una de las variables más utilizadas en el análisis de silos es la materia seca (%MS), la cual puede oscilar entre 16-50% de modo que es un parámetro altamente variable (Gingins, 2013). Los valores de % MS fueron de $20,3 \pm 0,2$ y $34,8 \pm 0,5$ para T1 y T2 respectivamente. El valor obtenido evidencia el efecto del oreado.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de PB, FDN, FDA y DMS obtenidos en el material previo al proceso de ensilaje. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,001$) entre los tratamientos T1 y T2 para todos los parámetros analizados.

Con respecto al contenido de proteína bruta, T2 mostró un valor más alto respecto de T1. Esto puede atribuirse a que durante el proceso de secado del material vegetal la pérdida de agua de los tejidos hace que se acumulen las

proteínas (Brero, 1968). Por otra parte, el contenido de fibra en T1 presentó los valores más altos. Esto podría deberse a que el secado produce cambios en los hidratos de carbono, debido a que una cierta cantidad de ellos se consumen durante el proceso de respiración celular. Esto genera anhídrido carbónico y vapor de agua, mientras que otra parte es reducida a sustancias más simples por la acción enzimática (Brero, 1968). De esta manera, la digestibilidad de T2 es significativamente mayor ($p > 0,001$) a T1, debido principalmente al menor contenido de fibra del material vegetal sin orear.

Tabla 2: Parámetros nutricionales asociados a la calidad del forraje previo al ensilaje

Tratamiento	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	DMS (%)	EM Mcal/kgMS
T1	14,4± 0,15 b	51,7± 0,40 a	27± 0,30 a	67,8± 0,23 b	2,4± 0,15 b
T2	15,1± 0,15 a	46,1± 0,36 b	26,4± 0,20 b	68,3± 0,15 a	2,5± 0,18 a

T1: material vegetal sin oreado sin ensilar, T2: material vegetal oreado sin ensilar, PB: proteína bruta, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, DMA: digestibilidad de la materia seca, EM: energía metabolizable.

2. Tamaño de partícula del material a ensilar

El tratamiento físico del forraje antes de ser ensilado es muy importante para conseguir una buena conservación. El tamaño de partícula es una de las principales consideraciones para ensilar forrajes (Bragachini *et al.*, 2015). Si el forraje no es picado adecuadamente pueden quedar bolsas de aire que dificultan la compactación del material y consecuentemente pueden producirse fermentaciones aeróbicas (Vieira da Cunha, 2009). Podemos decir que para obtener un silo de óptima calidad existen dos premisas fundamentales: lograr un tamaño de picado lo suficientemente pequeño para una correcta compactación y, por otra parte, lo suficientemente grande para proveer al animal de fibra efectiva (Gregoret & Gallardo, 2003).

Como se observa en la Figura 11 los mayores tamaños de partícula logrados, variaron entre 1-3 cm en ambos tratamientos y representan el 50% de las partículas. Tamaños de picado similares han sido descritos por otros autores donde el 50% de la masa a ensilar contenía partículas de 0.8 a 2 cm (Gallardo, 2005; Piñeiro, 2006). Basados en esta experiencia se puede decir

que el tamaño logrado en el material de partida para ensilar, se encontró dentro de los rangos adecuados.

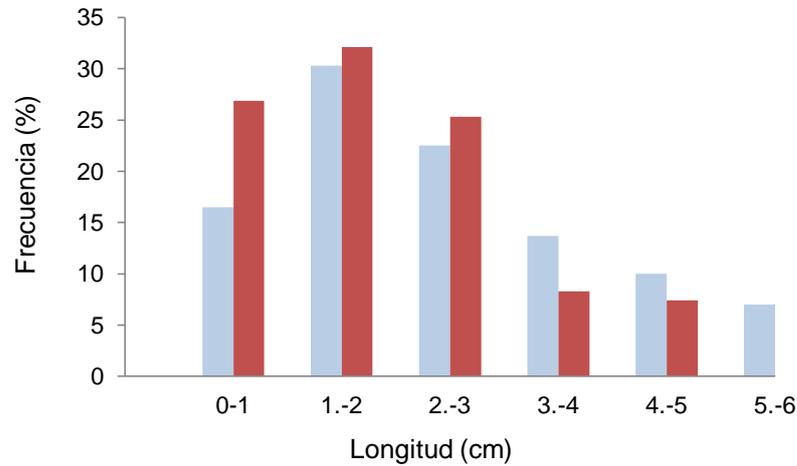


Figura 11: Distribución de tamaño de partícula del material verde previo al proceso de ensilaje, (■) T1 material vegetal sin ensilar y (■) T2: material vegetal oreado sin ensilar.

3. Caracterización organoléptica del material ensilado

Las características sobre el color, olor y textura pueden constituir un criterio subjetivo para evaluar los silajes, dado que no existe una relación confirmada entre estos y la eficiencia de conservación o el valor nutritivo de los mismos (Gutiérrez, 2009).

Al momento de apertura de los microsilos el color observado en los diferentes tratamientos (Tabla 3), varió entre las tonalidades de castaño a verdoso sin apreciación de coloraciones oscuras (marrones/negro) que indicaran la putrefacción del material (Hiriart *et al.*, 1998). Sin embargo, el tratamiento de oreado (T5 y T6) presentó una tonalidad castaño oscura, que podría atribuirse a una concentración de azúcares y posterior caramelización de los mismos debido al oreado del forraje previo al ensilaje (Brero, 1968).

Por lo general se relaciona el aroma con la predominancia de algún compuesto originado durante la fermentación. El olor avinagrado generado en todos los tratamientos (Tabla 3), podría ser producto de la fase de anaerobiosis donde se desarrolla un complejo microbiano que consume los jugos celulares liberados por la planta, especialmente los azúcares. En una primera etapa

predominan bacterias productoras de ácido acético (olor a vinagre). Posteriormente a éstas, se desarrollan las bacterias lácticas. En todos los casos, estos complejos de microorganismos consumen diferentes cantidades de azúcares solubles del medio (Mayer, 1999). Un ensilaje de buena calidad coincide con un olor agradable provisto de altos porcentajes de ácido láctico (Gutiérrez, 2009).

Tabla 3: Caracterización organoléptica de los diferentes tratamientos evaluados

Tratamiento	Olor	Color	Textura	Clasificación	Apariencia
T3	Agradable avinagrado	Castaño claro verdoso	Agregada, firme	Bien fermentado	
T4	Agradable avinagrado	Castaño claro verdoso	Agregada, firme	Bien fermentado	
T5	Agradable avinagrado	castaño oscuro	Agregada, firme	bien fermentado	
T6	Agradable avinagrado	verde opaco	Agregada, firme	Bien fermentado	

T3: material vegetal sin orear, ensilado. T4: material vegetal sin orear con agregado de bacterias lácticas ensilado. T5: material vegetal oreado ensilado. T6: material vegetal oreado con agregado de bacterias lácticas ensilado.

La textura del material ensilado fue firme y agregada en todos los tratamientos realizados. Un ensilaje cuyos tejidos son fáciles de desprender puede indicar un exceso de calor durante el proceso o la acción de mohos y

levaduras. Asimismo, una textura viscosa puede indicar la proliferación de bacterias productoras de ácido butírico y por ende la putrefacción del material (Hiriart *et al.*, 1998). De acuerdo a esta característica podemos decir que se obtuvo un ensilado de buena calidad.

En función de las características organolépticas evaluadas, podemos inferir que la calidad del material ensilado fue óptima en todos los tratamientos. En este sentido, el color luego del procesamiento difirió levemente del color del material previo al ensilado, el aroma fue agradable y la textura firme.

4. Determinación de parámetros relacionados al procesamiento y conservación del forraje

Al momento de apertura de los microsilos, la temperatura fue evaluada y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 4. Se encontraron diferencias significativas entre T3 y T5 ($p < 0,001$) los cuales registraron los valores mínimos y máximos respectivamente.

Cuando la materia seca fue determinada luego del proceso de ensilaje, se observó en los tratamientos sin orear (T3 y T4) valores de MS alrededor del 20% y en el material oreado (T5 y T6) los valores fueron próximos al 34%. Estos valores resultaron semejantes a los obtenidos previamente al proceso de ensilado (Tabla 2). En este sentido, probablemente los resultados obtenidos se expliquen por el tipo de microsililo empleado, el cual, no permite la salida de efluentes, y mantiene la humedad inicial (WingChing & Rojas, 2006).

Castillo y colaboradores (2011) destacan que en un ensilado de buena calidad, las pérdidas de MS deben ser mínimas. Un alto porcentaje de MS inicial puede restringir la actividad microbiana necesaria para el éxito del proceso de fermentación y dificultar la compactación del material. En cambio un bajo contenido, ocasiona pérdidas importantes de líquido durante el proceso de confección del silo. De esta manera, se arrastran carbohidratos solubles, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas y proteínas que reducen la calidad nutritiva del forraje (Fuentes, 2006).

Tabla 4: Parámetros asociados al procesamiento y conservación del forraje.

Tratamiento	Temperatura (°C)	MS (%)	pH
T3	15,95 ±1,42 b	20,24 ± 0,97 b	4,6 ± 0,13 b
T4	16,05 ± 1,86 ab	20,67 ± 0,69 b	4,5 ± 0,04 b
T5	18,10 ±1,17 a	34,47 ± 1,44 a	4,9 ±0,22 a
T6	17,50 ± 0,71 ab	33,47 ± 3,89 a	4,6 ± 0,71 b

T3: material vegetal sin orear, ensilado. T4: material vegetal sin orear con agregado de bacterias lácticas ensilado. T5: material vegetal oreado ensilado. T6: material vegetal oreado con agregado de bacterias lácticas ensilado. T°: temperatura, MS: materia seca.

Cuando en el proceso de ensilaje ocurren fermentaciones anaeróbicas, actúan bacterias lácticas, las cuales son deseables porque producen un rápido descenso del pH, logrando la rápida estabilización de la masa y se mantienen las características del material ensilado (Wagner *et al.*, 2013).

Los valores de pH de los microsilos obtenidos en este trabajo, están dentro del rango de pH que caracteriza un buen ensilaje, y dentro de valores aceptables para la conservación del material ensilado (pH 3,5 - 4,5) (Rojas *et al.*, 1999). Se observó un valor de pH significativamente mayor en T5 con respecto a los demás tratamientos (Tabla 4). En condiciones similares de oreado, Brero (1968) concluyó que el material vegetal oreado tiene mayor pH debido a una menor presencia de ácido láctico durante la fermentación. No obstante, este efecto puede ser compensado con la adición de inoculante bacteriano como en T6 (Tabla 4).

Según Fernández (1999), cuando el pH disminuye por debajo de 5 la presencia de microorganismos indeseables (hongos, levaduras, clostridios) en el ensilaje disminuyen, y aumentan los microorganismos deseables como las bacterias lácticas. En T4 y T6, el uso de inoculante bacteriano en el ensilaje produjo un ligero aumento en la acidez de los microsilos. Resultados similares obtuvo Gutiérrez (2009), para ensilado de maíz.

Si bien el pH de los silajes puede ser utilizado como un indicador del grado de fermentación y de la condición actual del material ensilado (Wagner *et al.*, 2013), este parámetro por si solo es insuficiente para determinar que un

ensilajes es de buena calidad. Por esta razón Gutiérrez (2009) propone relacionar el pH con el contenido de MS (Tabla 5).

Tabla 5: Relación entre el contenido de MS y pH para la evaluación de silajes según Gutiérrez (2009).

Calidad de silo	Contenido de materia seca (%MS)				
	15-20	21-25	26-30	31-35	35-40
Excelente	<4.0	<4.2	<4.4	<4.6	<4.8
Bueno	<4.2	<4.4	<4.6	<4.8	<5.0
Satisfactorio	<4.4	<4.6	<4.8	<5.0	<5.2
Mediocre	<4.6	<4.8	<5.0	<5.2	<5.4
Malo	>4.6	>4.8	>5.0	>5.2	>5.4

Según la Tabla 5 y los parámetros de pH y MS de T3 y T4, se pueden clasificar a estos ensilajes como mediocres-malos. Por otro parte, T5 a pesar de tener el mayor valor de pH (4.9), un alto contenido de MS (34,47%), favorecería la estabilidad del ensilado y puede ser clasificado como un ensilaje satisfactorio (Gutiérrez, 2009). No obstante, T6 presenta un pH de 4.6, y al relacionarlo con el contenido de MS (33,59%), nos permite concluir que el silaje es de excelente calidad.

5. Determinación de parámetros relacionados con la calidad nutricional del forraje

5. 1. Contenido de cenizas

Cuando una muestra orgánica es completamente incinerada, la ceniza es el residuo remanente y está compuesta de toda la materia inorgánica del material (minerales) como así también contaminantes inorgánicos como tierra y arena (Pineda, 2015). Según Bragachini y colaboradores (2011) en caso de tener un alto porcentaje de cenizas la digestibilidad disminuye. El contenido de

cenizas en los diferentes microsilos pueden observarse en la Figura 12. El tratamiento T4 mostró el valor más alto de cenizas (15,32%) y el tratamiento T6 el valor más bajo (12,94%). La principal diferencia entre T4 y T6 fue el tratamiento de oreado. Sin embargo, T3 y T5 no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre sí y no puede atribuirse la disminución del contenido de minerales en T6 al tratamiento de oreado.

Para Hoffman (2005), contenidos de cenizas mayores al 10% en un ensilaje de maíz, son indicativos de contaminación por suelo en el silaje. Sin embargo, los valores obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del rango de los publicados por otros autores en ensilaje de amaranto (Rezaei *et al.*, 2009; Rahjerdi *et al.*, 2015). Esto podría deberse principalmente a que esta especie se caracteriza por presentar un alto contenido de minerales (Bertoni & Cattaneo, 1987).

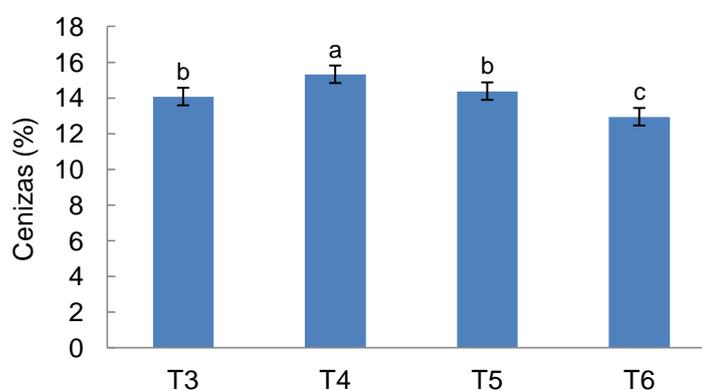


Figura 12: Contenido de cenizas para los diferentes tratamientos evaluados.

5. 2. Contenido de proteína bruta

Una alta cantidad de proteína está asociada generalmente, a una mayor calidad del forraje. Ha sido descrito en silajes de amaranto que el contenido de proteína varía de 13 a 18 % (Acevedo *et al.*, 2010). El contenido de proteína de los diferentes ensilados de este trabajo es mostrado en la Figura 13. Así, T3 presentó los valores más bajos (11,14%) de esta variable, mientras que T5 mostró los valores más altos (13,43%).

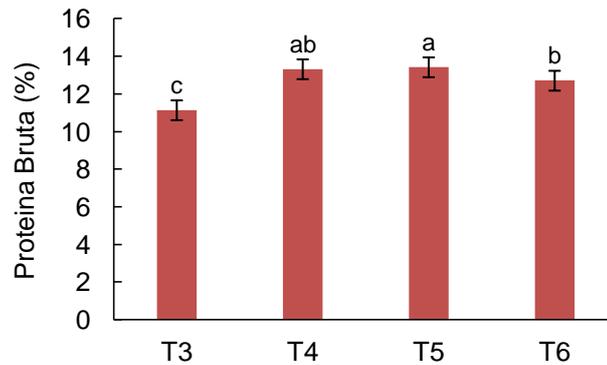


Figura 13: Contenido de proteína para los diferentes tratamientos evaluados.

El contenido de proteína muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) entre los tratamientos sin orear (T3; T4) y entre los oreados (T5; T6). Sin embargo, en T4 el contenido de proteína no fue significativo con respecto a T5 y T6. De estos resultados, podemos concluir que en T3 pudo haber ocurrido una mayor formación de amonio a través de una fermentación butírica favorecida por la humedad del material, de manera que el contenido de proteínas disminuyó (Fuentes, 2006). En T4, este efecto de la humedad no fue observado, debido a que la inoculación del material fresco, favoreció la fermentación láctica sobre la butírica como ya ha sido descrito por Muck & Kung (1997). Cuando se comparó el contenido de proteína del material ensilado respecto del material sin ensilar, se observó una disminución en esta variable. Resultados similares fueron hallados para este proceso de conservación en *Amaranthus sp* (Abbasi *et al.*, 2018).

5. 3. Contenido de Fibra, Digestibilidad y Energía Metabolizable

La fibra de un alimento la constituyen los hidratos de carbono estructurales de la pared celular y los hidratos de carbono solubles o no estructurales (Pendini, 2012). Batch & Calsamiglia (2006), definen la fibra detergente neutra como el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo cual representa toda la parte fibrosa del forraje, es decir los carbohidratos estructurales. La fibra detergente ácida es definida como el contenido de celulosa y lignina.

Los resultados obtenidos de FDN y FDA (Figura 14) muestran diferencias significativas entre los tratamientos oreados (T5 y T6) y sin orear (T3 y T4).

Los mayores valores de FDN y de FDA se observaron en T3 y T4. Resultados similares describió Cordero Fernández (2013) en ensilados de avena donde el oreado tendió a disminuir el contenido de fibra.

Por otro lado, en T5 y T6 se observaron diferencias estadísticas significativas entre sí para las variables FDN y FDA. Esta respuesta podría atribuirse al uso de bacterias lácticas en el ensilado como ha sido descrito por Fuentes (2008). Sin embargo, este efecto no fue observado entre T3 y T4. Probablemente el mayor contenido de humedad y menor temperatura de los microsilos en T3 y T4 limiten los procesos de fermentación, disminuyendo la acción de bacterias celulolíticas responsables de reducir la fracción fibrosa.

En relación al contenido de fibra inicial (T1 y T2), el proceso de ensilado redujo los valores tanto de FDN como de FDA. En cuanto a FDN, el tratamiento sin orear disminuyó un 6% tanto para T3 como para T4. Sin embargo, en T5 y T6 se redujo un 4 y 11% respectivamente. Con respecto a FDA, en los tratamientos sin orear bajó sólo el 2%, mientras que en el material oreado este parámetro disminuyó un 8 y un 28% en T5 y T6 respectivamente.

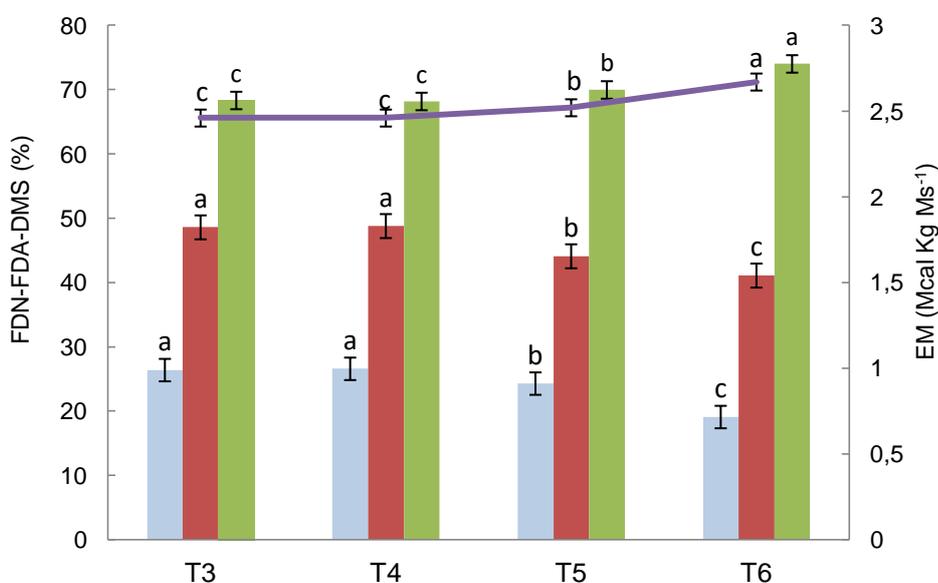


Figura 14: Contenido de fibra, energía metabolizable y digestibilidad de la materia seca para los diferentes tratamientos evaluados. (■) FDA, (■) FDN, (■) DIVMS y (—) EM.

El contenido de fibra está directamente relacionado con la digestibilidad e influye en la velocidad de paso del alimento por el tracto digestivo del animal (Fuentes, 2006; Pineda *et al.*, 2015). Los valores de digestibilidad para T3 y T4 reflejaron los resultados obtenidos en el contenido de FDN y FDA dado que no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí. Sin embargo, T5 y T6 presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí y mostraron los valores más altos de digestibilidad y energía metabolizable (Figura 13). En este sentido, la digestibilidad de T6 fue 74,02% y según la caracterización de Di Marco (2011) este silaje se clasificaría como de alta calidad, mientras que los restantes tratamientos serían de calidad media. Con respecto a la energía metabolizable de T6 (2,67 Mcal/k MS), se observó un incremento del 8% en este parámetro con respecto al material sin ensilar. Este valor de energía expresado en MJ/k MS se encuentra dentro del rango determinado en silajes de otras especies de amaranto (Razaei *et al.*, 2013, Razaei *et al.*, 2014).

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo podemos concluir que el tratamiento T6 presentó las mejores características organolépticas, de conservación y nutricionales de todos los tratamientos evaluados. Al comparar la calidad de este ensilado con valores descriptos para los cultivos tradicionalmente utilizados en este tipo de técnica de conservación (Tabla 6) podemos inferir que el mismo es comparable con la calidad de los silos de maíz. Asimismo, se destaca el importante aporte en el contenido de proteína que el amaranto presenta sin afectar el proceso de ensilado. En este sentido, la digestibilidad también es relevante.

Tabla 6. Comparación de los parámetros de calidad nutricional de los principales cultivos usados como forrajes.

	MS	pH	PB	Ceniza	FDA	FDN	DMS	EM	Referencia
Maíz	36	3,5	8,5	5,5	15,8	36,6	75,5	2,7	Pineda, 2015
Sorgo	33,7	4	6,9	8,7	30,7	55	66,3	2,4	De León y Giménez, 2011.
Amaranto	33,5	4,6	12,7	12,9	19,1	41,1	74	2,7	Este trabajo

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó este trabajo se concluye que:

- Ninguno de los silos obtenidos presentó características organolépticas de tipo de silo "sobrecalentado". Por el contrario, todos los tratamientos evaluados mostraron atributos que se corresponden con un silaje "bien fermentado".
- Cuando se relacionaron los valores de pH con el %MS para evaluar la estabilidad, se confirmó que el tratamiento de oreado y agregado de bacterias lácticas resultaron en un silaje de excelente calidad.
- El tratamiento de oreado y agregado de bacterias lácticas al forraje, favoreció las condiciones de fermentación del silaje con respecto a los valores de proteína bruta.
- El contenido de fibra de amaranto (FDA y FDN) disminuyó con el proceso de ensilaje en todos los tratamientos evaluados. Esto mejoró la digestibilidad y energía metabolizable del mismo.
- El tratamiento de oreado y agregado de bacterias lácticas (T6) presentó parámetros de fibra, digestibilidad y energía metabolizable que lo clasifican como un silo de excelente calidad según la bibliografía.
- El proceso de ensilaje de amaranto para el VIRN puede ser considerado como una alternativa de conservación de forraje.

BIBLIOGRAFIA

- Abbasi, M., Rouzbehan, Y., Rezaei, J., Jacobsen, S. E. (2018). The effect of lactic acid bacteria inoculation, molasses, or wilting on the fermentation quality and nutritive value of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) silage. *Journal of animal science*, 96(9), 3983-3992.
- Acevedo, I., García, O., Contreras, J., Acevedo, I., Morales, R. (2010). COMPOSICIÓN QUÍMICA DE *Amaranthus* ENSILADO. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 28, 9-15.
- AOAC. (1990) Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemistry. 16th edición, Ed. By Hoorwitz, N., P. Chialo, y H. Reynold, Washington, USA
- AOAC. (2000) Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 365.17, 974.24, 992.16.
- Argamenteria, G. A., De La Roza, B., Martinez, A., Sanchez. L., Martinez. A (1997). El ensilado en Asturias. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA), p. 1-127.
- Bach, B., Casalmigia, S. (2006). La fibra en los rumiantes¿ química o física?. XXII Curso de especialización FEDNA. p99-113.
- Bertoni, M.H., Cattaneo, P. (1987). Aspectos nutricionales del follaje y de la semilla de Amaranthos Americanos Cultivados, en: Actas de las Primeras Jornadas Nacionales sobre Amaranthos. Universidad Nacional de La Pampa. Fac. de Agr. Santa Rosa. La Pampa, Argentina, p. 63-86.
- Bragachini, M. (2011). Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional (No. 633.208). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina).
- Bragachini, M., Sánchez, F., Urrets Zavalía, G., Giordano, J., Peiretti, J. (2015). Tecnología de picado para ensilado de cultivo de maíz. Módulo INTA Tecno Forraje.
- Brero, R. A. (1968) Conservación de forrajes. INTA. Boletín interno de divulgación N°14.
- Brero, R. A. (1978). Nociones básicas de conservación de forrajes. INTA. Boletín interno de divulgación N°10.
- Cañete, M. V., Sancha, J. L. (1998). Ensilaje de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Editorial Mendi Prensa, Madrid. 260 pp.
- Carrillo, J. (2003). Manejo de pasturas EEA INTA Balcarce, p 450, Ediciones INTA.
- Castillo Valencia, A., Hernandez Beltran, A., Lopez de Buen, L. (2011). El ensilaje qué es y para qué sirve? .Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana . 24: (2) 49 – 52.

- Cordero Fernández, A, Paco, J. C., Carhuapoma, Q. W., Soldevilla, C. W. (2013). Efecto del premarchitamiento y de diferentes proporciones de urea sobre la composición bromotológica del ensilado de avena (*Avena Sativa* L.). *Revista complutense de ciencias veterinarias*, 7(2), 24-35.
- Di Marco, O. (2011). Estimación de calidad de los forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias. Unidad Integrada Balcarce INTA Balcarce. *Producir XXI*, Bs. As., 20(240):24-30.
- Di Rienzo, J. (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- De la Roza, B. (2005). El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV Jornadas de Alimentación Animal. Laboratorio de Mourisca de Lalín (Pontevedra), 1-20.
- Galina, M. A., Guerrero, M., Puga, C. D. (2007). Fattening Pelibuey lambs with sugar cane tops and corn complemented with or without slow intake urea supplement. *Small ruminant research*, 70(2-3), 101-109.
- Gingins, M. (2013). Como interpretar un análisis de silaje de maíz. *Revista Argentina de Producción Animal*. *Producir XXI*, Bs. As., 21(257):36-39
- Gallardo, M. R. (2005). Tecnologías para corregir y mejorar la calidad de los forrajes conservados. *Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa.*, 51-61.
- Gregoret, R., Gallardo, M. (2003). Porqué es importante el tamaño de picado. EEA INTA Rafaela. Argentina.
- Gutiérrez, L. M. (2009). Evaluación práctica de silajes y henolajes empaquetados. EEA Balcarce, INTA.
- Hiriart Le Bert, M. (1998). *Ensilados: Procesamiento y calidad*. Trillas. ed. México DF, México. Editorial Trillas. p 95.
- Hoffman, P. C. (2005). Ash content of forages. *Focus on Forage*, 7(1), 1-2.
- IDEVI. (2010). El proyecto. Nota en página web institucional del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior. <http://www.idevi.rionegro.gov.ar/> (último acceso 06/07/2019).
- Fernández, A. (1999). El silaje y los procesos fermentativos. *Silaje de planta entera*, Cap. I, 4-11.
- Mora-Fuentes, G. (2006). Evaluación a nivel de microsilo del comportamiento de parámetros asociados a la calidad del proceso fermentativo y el valor nutricional del ensilaje de maíz-soya y sorgo-soya con o sin uso de aditivos. Trabajo Final de Graduación. Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto tecnológico de Costa Rica. Sede regional San Carlos.

- Klein, F. (1991). Utilización de ensilaje de alfalfa en rumiantes. Avances en Producción Animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-15. Valdivia, Chile. p: 76-94.
- Lanuza, F., & Remehue, I. (2008). Requerimientos de nutrientes según estado fisiológico en bovinos de leche. Instituto de Investigaciones Agropecuarias–Centro Regional de Investigación Remehue Boletín Inia, (148), 1-16.
- Masotta, H. T. (1970). Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII: valle inferior del Río Negro, Argentina. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro, Estación Experimental de Riego y Cultivos.
- Mayer, A. F. (1999). El ensilaje y los procesos fermentativos. Silaje de planta entera, Cap. I:4-11. EEA INTA Bordenave.
- Mazón, N., Peralta, E., Rivera, M., Subia, G., Tapia, C. (2003). Catálogo del banco de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp.) del INIAP–Ecuador. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Departamento Nacional de Recursos Filogenéticos y Biotecnología, Estación Experimental Santa Catalina Quito, Ecuador.
- Mier Quiroz, M. (2009). Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Trabajo de fin de máster. Universidad de Córdoba. España. p 66.
- Molina, A. M. G., Holguín, E. S., Serna, J. G., Alzate, S. R. (2006). Evaluación de la calidad bromatológica del ensilaje de pasto kikuyo y maní forrajero. Revista Lasallista de Investigación, 3(2), 34-37.
- Muck, R. E., Kung Jr, L. (1997). Effects of silage additives on ensiling. Silage: Field to feedbunk. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, New York, USA.
- Mujica, A., Berti Díaz, M. (1997). El cultivo del Amaranto (*Amaranthus* spp): Producción, mejoramiento genético y utilización. FAO, Roma (Italia); Universidad Nacional del Altiplano, Puno (Perù).
- O'Doherty, J. V., Maher, P. F., Crosby, T. F. (1997). The performance of pregnant ewes and their progeny when offered grass silage, maize silage or a maize silage/ensiled super pressed pulp mixture during late pregnancy. Livestock Production Science, 52(1), 11-19.
- Peiretti, G. (2010). Amaranto, un cultivo milenario resurge como alternativa. Revista facultad de agronomía y veterinarios de la UNRC año 2 n°3 ISSN 18533280.
- Peiretti, J., Cattani, P., Bragachini, M. (2010). El tamaño de picado como factor de calidad. El Tribuno Campo. Sitio Argentino de Producción Animal. <http://www.produccion-animal.com.ar/> .visitado 5/8/2019

- Peñagaricano, J., Arias, W., y Llana, N. (1986). Ensilaje: manejo y utilización de las reservas forrajeras. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. p 345.
- Phipps, R. H., Sutton, J. D., Beever, D. E., Jones, A. K. (2000). The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. *Animal Science* 71, p.401-409.
- Pineda, J. A., Sánchez, M. E., Scaramuzza, J. P. (2015). Estudio comparativo de calidad y valor nutritivo de silos bolsa de maíz en la zona de James Craik-Córdoba (Bachelor's thesis).
- Pendini, C. R. (2012). Notas sobre Producción de Leche. Editorial Sima. Facultad de Ciencias Agropecuarias – U.N.C. Argentina.
- Piñeiro, G. (2006). Cuidados en la confección del silo de maíz. *Producir XXI*. Buenos Aires, Argentina.
- Pisarikova, B., Lekarstvi, V. U. V., Peterka, J., Trckova, M., Lekarstvi, V. U. V., Moudry, J., Lekarstvi, V. U. V. (2007). The content of insoluble fibre and crude protein value of the aboveground biomass of *Amaranthus cruentus* and *A. hypochondriacus*. *Czech Journal of Animal Science-UZPI (Czech Republic)*.
- Rahjerdi, N. K., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., Rezaei, J. (2015). Chemical composition, fermentation characteristics, digestibility, and degradability of silages from two amaranth varieties (Kharkovskiy and Sem), corn, and an amaranth–corn combination. *Journal of animal science*, 93(12), 5781-5790.
- Rezaei, J., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H. (2009). Nutritive value of fresh and ensiled amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) treated with different levels of molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1-2), 153-160.
- Rezaei, J., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., Zahedifar, M. (2014). Effects of substituting amaranth silage for corn silage on intake, growth performance, diet digestibility, microbial protein, nitrogen retention and ruminal fermentation in fattening lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 192, 29-38.
- Rezaei, J., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., Zahedifar, M. (2013). Carcass characteristics, non-carcass components and blood parameters of fattening lambs fed on diets containing amaranth silage substituted for corn silage. *Small ruminant research*, 114(2-3), 225-232.
- Rohweder, D., Barnes, R. F., Jorgensen, N. (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of animal science*, 47(3), 747-759.
- Rojas, A., (1999). Estándares de calidad del ensilaje. In Seminario Magistral: Estrategias de Alimentación de la Vaca Lechera en Verano.

Auditorio de la Facultad de Agronomía de la UCR. Memoria. San José, Costa Rica. s.e. s.p.

- Seguin, P., Mustafa, A. F., Donnelly, D. J., Gélinas, B. (2013). Chemical composition and ruminal nutrient degradability of fresh and ensiled amaranth forage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(15), 3730-3736.
- Sleugh, B. B., Moore, K. J., Brummer, E. C., Knapp, A. D., Russell, J., Gibson, L. (2001). Forage nutritive value of various amaranth species at different harvest dates. *Crop Science*, 41(2), 466-472.
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 26-53.
- Tercero, M., Solano, A. (2015). Evaluación de calidad de ensilaje de pasto Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087) con adición de harina de maíz, melaza y Biostabil® como inóculo.
- Thomas, C., Golightly, A. (1983). Winter feeding. In: *Milk from grass*. (C.THOMAS and J.W.O. YOUNG, eds) ICI-ARC Billingham Press Limited, p 21-28.
- Uset, O. A., Lazzaro, M. (2009). Reservas Forajeras. Informe Técnico N° 63. EEA Montecarlo.
- Viera da cunha, M. (2009). Conservação de forragem. Pesquisador da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e Doutorando do Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da UFRPE, p. 1-26.
- Wagner, B., Asencio, V., Caridad, J. (2013). Como preparar un buen silaje. IDIAF. Instituto dominicano de investigaciones agropecuarias y forestales. República Dominicana.
- WingChing-Jones, R ., Bourrillón, A. R., Jiménez, M. C. (2006). Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (" *Vigna radiata*"). *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 33(1), 133-146.
- Zubillaga, M.F .(2017). Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle inferior del Rio Negro, Argentina. optimizacion de las condiciones del cultivo. Tesis doctoral en ciencias agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.