



**Universidad Autónoma de Querétaro**

**Facultad de Ciencias Naturales**

**Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Efecto de la adición de un complejo de bacterias lácticas sobre la  
calidad del ensilado de maíz**

**Tesis**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de**

**Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable**

**Presenta**

**MVZ Laura Xóchitl Iturralde Araiza**

**Codirigido por**

**Dra. Araceli Aguilera Barreyro**

**Dr. Javier Armando Lara Arellano**

**Querétaro, Qro. Diciembre del 2017.**



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Efecto de la adición de un complejo de bacterias lácticas  
sobre la calidad del ensilado de maíz

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestra en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

MVZ Laura Xóchitl Iturralde Araiza

Codirigido por

Dra. Araceli Aguilera Barreyro  
Dr. Javier Armando Lara Arellano

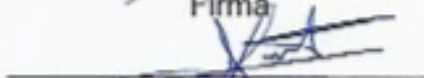
Sinodales

Dra. Araceli Aguilera Barreyro  
Presidente



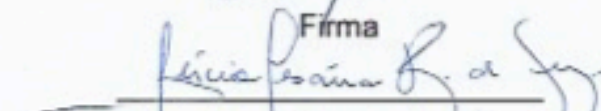
Firma

Dr. Javier Armando Lara Arellano  
Secretario



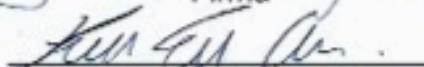
Firma

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza  
Vocal



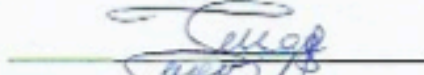
Firma

Dr. Konisgmar Escobar García  
Suplente

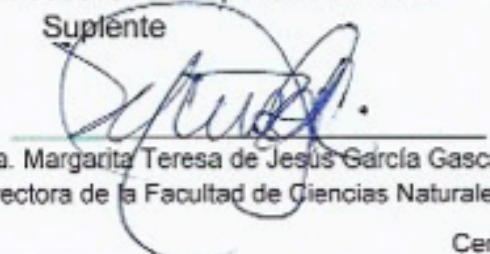


Firma

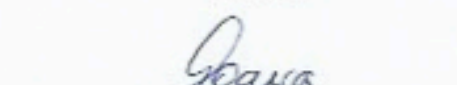
M.C. José Guadalupe Gómez Soto  
Suplente



Firma



Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
Directora de la Facultad de Ciencias Naturales



Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Diciembre 2017  
México



## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de dos complejos de bacterias lácticas (CBL) sobre la calidad del ensilado de maíz, mediante la evaluación sensorial, química y biológica. Los tratamientos (TTM) evaluados fueron 5: 1) control sin adición de inóculo, 2 y 3) dos tratados con inóculos comerciales, y 4 y 5) dos tratados con inóculos a prueba (Bal uno y Bal dos). Para desarrollar el experimento la planta de maíz se picó a un tamaño de partícula de 5 cm. El material picado se colocó en tambos plásticos de 200 L y fue compactado por capas hasta que se llenó el tambor. Se colocó la tapa de plástico y se cerró con el cintillo de metal a presión. Se realizó una perforación en la tapa para permitir la salida de gas y esta se selló con silicón. Para los TTM con inóculo se asperjó el inóculo entre capas antes de la compactación. Cada TTM se realizó por cuadruplicado. El maíz se ensiló durante 42 días. Se realizó una inspección sensorial en los ensilados muestreados, donde se observó que los cinco tratamientos presentaron las características deseadas para un buen ensilado. Las muestras obtenidas por tambor se congelaron. Se analizaron: el pH, contenido de materia seca, proteína cruda (PC), fracciones de fibra, amoníaco, ácidos grasos volátiles, ácido láctico y digestibilidad *in vitro* de materia seca y materia orgánica. Los análisis químicos indicaron que estadísticamente no existió diferencia en las variables de pH, PC, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos. En cuanto a las digestibilidades, estadísticamente no existieron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre los inóculos comerciales 1 y 2 y Bal uno, por el contrario sí existió diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos Bal uno y Bal dos. La producción de ácido láctico del control fue menor y diferente significativamente ( $P < 0.05$ ) de los demás tratamientos inoculados; el Control mostró las concentraciones más bajas de ácido acético; solamente el tratamiento Bal dos produjo ácido propiónico a una concentración de 2.7% y no se detectó la presencia de ácido butírico en ninguno de los tratamientos. Bajo las condiciones de este experimento BAL dos presenta el mayor contenido de ácido láctico, un buen contenido de ácido acético, además de presentar producción de ácido propiónico.

Palabras clave: ensilaje, maíz, bacterias lácticas

## SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the effect of the addition of two complexes of lactic acid bacteria (CBL) on the quality of corn silage, through sensory, chemical and biological evaluation. The treatments (TTM) evaluated were 5: 1) control without addition of inoculum, 2 and 3) two treated with commercial inoculants and 4 and 5) two treated with inocula to test (Bal one and Bal two). To develop the experiment the corn plant was stung at a particle size of 5 cm. The chopped material was placed in 200 L plastic container and was compacted in layers until the container was filled. The plastic cap was placed and closed with the metal pressure band. A perforation was made in the lid to allow gas to escape and this was sealed with silicone. For the TTM with inoculum, the inoculum was sprayed between layers before compaction. Each TTM was done in quadruplicate. The corn was ensiled for 42 days. A sensory inspection was performed on the ensiled sampled, where it was observed that the five treatments presented the desired characteristics for a good silage. The samples obtained by container were frozen. The following were analyzed: pH, dry matter content, crude protein (CP), fiber fractions, ammonia, volatile fatty acids, lactic acid and in vitro digestibility of dry matter and organic matter. The chemical analyzes indicate that statistically there was no difference in the variables of pH, PC, Neutral Detergent Fiber and Acid Detergent Fiber ( $P > 0.05$ ) between the treatments. Regarding digestibilities, statistically there were no differences ( $P > 0.05$ ) between commercial inoculum 1 and 2 and Bal one, on the contrary there was statistical difference ( $P < 0.05$ ) between the treatments Bal one and Bal two. The lactic acid production of the control was lower and significantly different ( $P < 0.05$ ) from the other treatments inoculated; the control showed the lowest concentrations of acetic acid; only the Bal dos treatment produced propionic acid at a concentration of 2.7% and the presence of butyric acid was not detected in any of the treatments. Under the conditions of this experiment BAL two has the highest content of lactic acid, a good content of acetic acid, in addition to the production of propionic acid.

Keywords: silage, corn, lactic acid bacteria

## **DEDICATORIAS**

- ❖ A mis Papás, hermanos y sobrinos, por la simple razón de ser mi Familia.
- ❖ A mis ángeles, Jesús, Petrita, Alfonso y Luis.
- ❖ Pero sobre todo a Mí, porque me costó tiempo, desveladas, nervios, estrés...

## **AGRADECIMIENTOS**

- ❖ A mi asesora, Dra. Araceli Aguilera Barreyro por brindarme siempre se apoyo y confianza.
- ❖ A mi asesor, Dr. Javier Armando Lara Arellano por permitirme realizar este proyecto.
- ❖ A los miembros del comité, Dra. Tercia Cesária Reis de Souza, Dr. Konigsmar Escobar García y Dr. José Guadalupe Gómez Soto.
- ❖ Al Profesor Guillermo Cruz Nicolás.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIAS</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>viii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Generalidades de la planta de maíz forrajera</b>	<b>2</b>
2.1.1. Clasificación	2
2.1.2. Morfología	3
2.1.3. Metabolismo	3
2.1.4. Producción mundial y nacional	4
2.1.5. Composición química de la planta de maíz forrajero	4
2.1.6. Importancia del maíz forrajero	7
2.1.7. Problemas de conservación del maíz forrajero	8
<b>2.2. Tipos de Silo</b>	<b>9</b>
2.2.1. De trinchera y bunker	9
2.2.2. De pastel o torta	10
2.2.3. De bolsa	11
2.2.4. En tambos	12
<b>2.3. Proceso de ensilaje</b>	<b>12</b>
2.3.1. Estabilidad aeróbica	16
<b>2.4. Aditivos para ensilar</b>	<b>17</b>
2.4.1. Inoculantes microbianos	18
<b>2.5. Características, composición química y clasificación de ensilados</b>	<b>21</b>
<b>2.6. Empleo de ensilados de maíz en la producción animal en México</b>	<b>28</b>
<b>III. OBJETIVOS</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Objetivo general</b>	<b>30</b>
<b>3.2. Objetivos particulares</b>	<b>30</b>
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Experimento</b>	<b>31</b>
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
<b>5.1. Características sensoriales de los ensilados</b>	<b>35</b>
<b>5.2. Características químicas y biológicas</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Productos de la fermentación</b>	<b>37</b>
<b>VI. DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>

<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	<b>46</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>53</b>
<b>9.1. Anexo 1</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Producción y consumo de maíz para el ciclo agrícola 2010-2017.	5
2	Composición química general de distintos tipos de maíz (% en base seca).	8
3	Características sensoriales del ensilaje.	22
4	Composición química del ensilaje de maíz (% MS).	23
5	Valores objetivo del ensilado de maíz (% MS).	24
6	Características sensoriales de los ensilados de maíz evaluados.	35
7	Análisis estadístico de las características nutricionales de los 5 ensilados de maíz.	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Tipos de maíz más importantes en México	2
2	Partes de la planta de maíz	4
3	Línea de la leche en el grano de maíz	6
4	Silos de trinchera y bunker	10
5	Silos de pastel o torta	11
6	Silos de bolsa	11
7	Silos en tambo	12
8	Fases del proceso de fermentación	15
9	Fermentación secundaria en ensilados por microorganismos indeseados	16
10	Aditivos usados en ensilajes	18
11	Especies más comunes de bacterias homofermentativas	19
12	Especies más comunes de bacterias heterofermentativas	20
13	Ganado alimentado con ensilaje	29
14	Maíz sembrado en invernadero	31
15	Tratamientos de los ensilados de maíz	32
16	Diagrama de flujo del proceso de ensilaje durante el experimento	33
17	Ensilado de maíz a la apertura	35
18	Digestibilidad in vitro de materia seca (DVIVMS) y materia orgánica (DVIVMO) de los ensilados de maíz	37
19	Ácido láctico y AGV's (% en base a MS) presentes en los ensilados de maíz evaluados	38
20	N-NH <sub>3</sub> , % y N-NH <sub>3</sub> , % del N total (en base a MS) presente en los ensilados de maíz evaluados	38

## **I. INTRODUCCIÓN**

La alimentación de América latina se basa principalmente en el maíz, este cereal es considerado la mayor fuente de alimento humano y animal, se cultiva con diferentes propósitos, tales como producción de forraje verde, granos secos, o como hortaliza en forma de elotes, a nivel mundial ocupa el primer lugar de producción con 824 millones de toneladas. El cultivo de maíz está muy extendido, ya que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y climatológicas, existe una gran variedad y es una fuente importante de almidón, el maíz amarillo es el más nutritivo, y los más usados en la ganadería son el dentado y el duro (Paliwal et al., 2001; Parsons, 2008; González, 2009).

Dentro de la actividad pecuaria, la conservación de forrajes constituye una herramienta útil para disponer de fuentes de alimento de calidad, para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales en las épocas de invierno o de lluvias. La técnica de conservar forrajes bajo la forma de ensilado es muy antigua, datos sobre la práctica de ensilar maíz en EE.UU. datan desde 1875. Para lograr la conservación adecuada es necesario conseguir y mantener condiciones anaeróbicas, esto favorece la acción de las bacterias lácticas presentes en el forraje verde sobre los carbohidratos del mismo, esto da como resultado una baja de pH, lo cual mantiene la masa sin un deterioro posterior (Franco et al., 2007).

Una manera de mejorar o controlar la fermentación es con la adición de inoculantes microbianos, que favorezcan la producción de ácido láctico y en menor grado de ácido acético, este último inhibe el crecimiento de hongos y levaduras, para mejorar la estabilidad anaeróbica del ensilado. En la mayoría de las producciones lecheras el ensilado de maíz es utilizado y en la mayoría de los casos es la base de la dieta del ganado lechero, el tener un inoculante que ayude a mejorar las condiciones de fermentación en los ensilados sería una herramienta de gran ayuda para su elaboración (Hiriart, 2008). Por lo antes mencionado el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de un complejo de bacterias lácticas sobre la calidad del ensilado de maíz.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades de la planta de maíz forrajera

El maíz se cultiva alrededor del mundo, es la base de la alimentación de los latinoamericanos, y el principal cereal utilizado en la alimentación animal. Este cereal se adapta ampliamente a diversas condiciones geográficas (Becerra, 2004).

#### 2.1.1. Clasificación

Pertenece a la familia de las gramíneas, tribu maideas, su nombre científico es *Zea mays*. Desde el punto de vista compra-venta se clasifica en blanco, amarillo, mezclado o pinto, de acuerdo con la estructura de sus granos, se divide en subespecies: *indurata*, *amylacea*, *everta*, *saccharata*, *tunicata*, *cerea* e *indentata*.

El *Zea mays indentata* constituye el 75% de la producción mundial, principalmente en países desarrollados (Parsons, 2008). En México los más importantes (Figura 1) para la producción de grano y forraje o ensilaje son el duro (*indurata*) y el dentado (*indentata*) (Paliwal et al., 2001; González, 2009; Deras, 2014).



**Figura 1.** Tipos de maíz más importantes en México (UNCOMO, 2016; Ororadio, 2017).

En el maíz duro los granos son redondos, duros y suaves al tacto, el endospermo está constituido sobre todo de almidón duro córneo con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano, germina mejor que otros tipos de maíz, particularmente en suelos húmedos y fríos. Es por lo general de madurez temprana y se seca más rápidamente una vez que alcanzó la madurez fisiológica, está menos sujeto a daño de insectos y mohos en el campo y en el almacenamiento. Sin embargo, los

maíces duros rinden por lo general menos que los maíces dentados (Paliwal et al., 2001; Parsons, 2008)

El maíz dentado es cultivado más comúnmente para grano y ensilaje, el endospermo tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano, es generalmente de mayor rendimiento que otros tipos, pero es más susceptible a hongos e insectos en el campo y en el almacenamiento. El maíz dentado de granos de color blanco es preferido para el consumo humano y el de granos amarillos es más usado para alimento animal, aunque ambos tipos son importantes para alimento animal (Paliwal et al., 2001; Parsons, 2008).

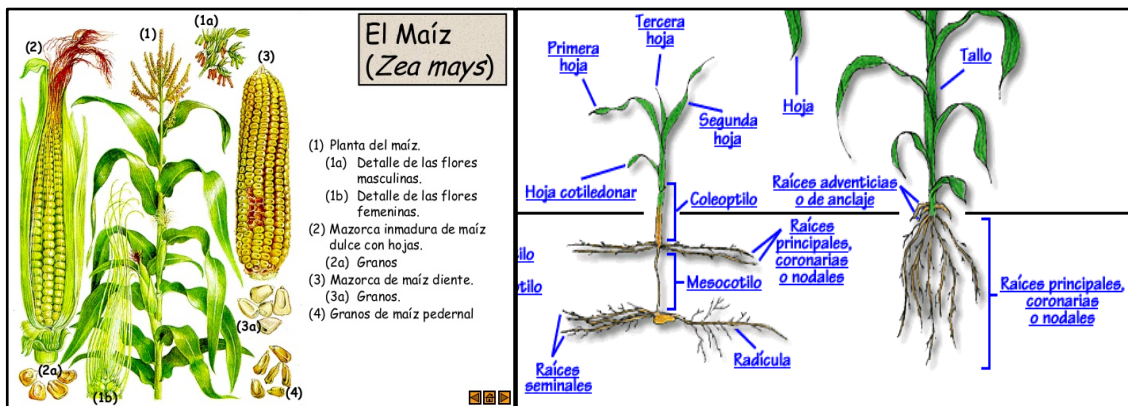
### **2.1.2. Morfología**

La altura de la planta de maíz va de 200 a 300 cm, el tallo es leñoso y cilíndrico, el número de los nudos varía de 8 a 25, con un promedio de 16. La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo, con los extremos desunidos, el número de hojas por planta varía. La raíz principal está representada por un grupo de una a cuatro, suministran nutrientes a la semilla en las primeras dos semanas y después dejan de funcionar. El sistema radicular de una planta es casi totalmente de tipo adventicio y pueden alcanzar hasta dos metros de profundidad, las raíces de soporte se originan en los nudos, cerca de la superficie del suelo, favorecen una mayor estabilidad y realizan la fotosíntesis. El maíz es monoico, es decir, tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las partes de la planta de maíz se ilustran en la Figura 2 (Parsons, 2008).

### **2.1.3. Metabolismo**

Está determinada en gran medida por el factor genético, la forma de crecimiento y desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales. Bajo condiciones apropiadas de temperatura, humedad y aireación, el maíz germina dentro de los seis días posteriores a la siembra. No requiere de luz para germinar. La floración es afectada por la temperatura, bajo condiciones normales, la autofecundación es alrededor del 5%. La duración del ciclo de vida del maíz depende de las condiciones

genéticas y del ambiente, periodos de sequía y temperaturas altas provocan una maduración temprana (Parsons, 2008).



**Figura 2.** Partes de la planta de maíz (Ochoa, 2016).

### 2.1.4. Producción mundial y nacional

A nivel mundial el maíz es la mayor fuente de alimento para humanos y animales, y ocupa el primer lugar con una producción estimada de 1, 071,230 millones de toneladas para el 2017, Estados Unidos es el principal productor, consumidor y exportador. En el Cuadro 1 se pueden apreciar los países productores y consumidores más importantes a nivel mundial durante el ciclo agrícola 2016-2017. México se ubica en el séptimo lugar de producción (USDA, 2017).

### 2.1.5. Composición química de la planta de maíz forrajero

#### Grano:

Proteínas: el contenido puede oscilar entre 8 y 11% del peso del grano.

Aceite y ácidos grasos: el aceite se encuentra principalmente en el germen, con valores de 3 a 18%, tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico 11% y esteárico 2%; contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácido linoleico 24%.

Paredes celulares: esta formado por 5.3% de fibra cruda (FC), del cual el 75% de hemicelulosa, 24.9% de celulosa y 0.1% de lignina, en materia seca. (Arroyo y Flórez, 2007), mencionan que tiene 3.4% de FC, 33.4% de fibra detergente neutro (FDN) y 6.4% de fibra detergente ácido (FDA).



**Cuadro 1.** Producción y consumo de maíz para el ciclo agrícola 2016-2017.

Países	Producción		Consumo	
	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje
<b>E.E.U.U.</b>	384,778	35.92	312,307	30.35
<b>China</b>	219,554	20.50	232,000	22.54
<b>Brasil</b>	98,500	9.20	60,500	5.88
<b>U. Europea</b>	61,238	5.72	73,500	7.14
<b>Argentina</b>	41,000	3.83	11,000	1.07
<b>Ucrania</b>	28,000	2.61	-	-
<b>México</b>	27,400	2.56	39,900	3.88
<b>India</b>	26,260	2.45	25,000	2.43
<b>Sudáfrica</b>	17,150	1.60	12,800	1.24
<b>Rusia</b>	15305	1.43	9,900	0.96
<b>Canadá</b>	13,200	1.23	12,520	1.22
<b>Indonesia</b>	10,900	1.02	12,200	1.19
<b>Filipinas</b>	8,087	0.75	-	-
<b>Nigeria</b>	7,200	0.67	-	-
<b>Etiopía</b>	6,350	0.59	-	-
<b>Egipto</b>	6,000	0.56	15,100	1.47
<b>Japón</b>	-	-	15,100	1.47
<b>Vietnam</b>	-	-	13,100	1.27
<b>Irán</b>	-	-	10,800	1.05
<b>Corea del sur</b>	-	-	9,900	0.96
<b>Otros</b>	100,263	9.36	163,518	15.89
<b>Total</b>	1'071,230	100	1'058,125	100

(USDA, 2017).

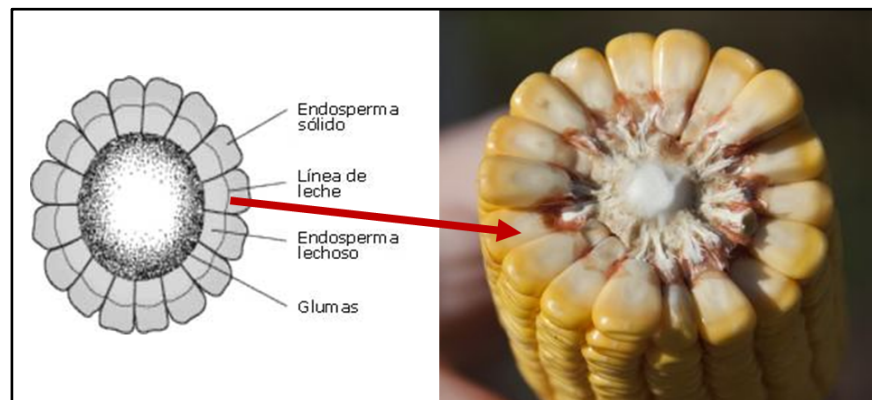
Carbohidratos solubles: en los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos, doce días después de la polinización, el contenido de azúcares es relativamente elevado, mientras que el de almidón es bajo; conforme el grano madura, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón. El almidón es el principal componente químico del grano, que constituye de 72% a 82.9% de su peso, otros carbohidratos solubles que se encuentran en el grano son glucosa, sacarosa y fructuosa, en cantidades que varían de 1 a 3% del grano.

Vitaminas y minerales: contiene dos vitaminas liposolubles, la vitamina A y la vitamina E; las vitaminas hidrosolubles se localizan en la cáscara del grano,

principalmente tiamina y riboflavina. El 78% de los minerales se encuentra en el germen, el más abundante es el fósforo (National Research Council, 2001; Arroyo y Flórez, 2007; Parsons, 2008; González, 2009; de Blas et al., 2010).

### Planta completa:

El contenido de materia seca varía de 15 a 25 % en la planta verde y la composición química es de 4 a 11 % de PC, 1 a 3.5% de extracto etéreo (EE), 27 a 35% de FC, 34 a 55% de extracto libre de nitrógeno (ELN) y de 7 a 10% de cenizas (CEN) (Sánchez y Oliviera, 1973; León, 1980; National Research Council, 2001; de Blas et al., 2010). Se estima una digestibilidad media de 60% de la materia seca, con valores mínimos de 40% en cultivos muy maduros y valores máximos de 71% en los jóvenes. Cuando el grano de maíz está entre el estado lechoso y masoso, la planta está en su condición óptima para la cosecha y conservación.



**Figura 3.** Línea de la leche en el grano de maíz (Pagliaricci et al., 2004)

Otro indicador para el óptimo estado del corte, es cuando se presenta la “línea de leche” (Figura 3), esta línea marca el avance de endurecimiento de la maduración del grano, dividiendo la zona de almidón líquido del sólido, el corte puede hacerse cuando el grano presenta la línea de leche en su porción media o a dos tercios de la longitud del grano. En este estado la composición química de la planta es: contenido de materia seca es de 25 a 31%, 5.7 a 6.7% de proteína cruda, 55 a 59% de fibra detergente neutra (FDN), 36% de fibra detergente ácida (FDA) y 67% de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (Bruno et al., 1995; Bravo, 2008; Hiriart, 2008; Cobos, 2013).

Amador y Boschini (2000), observaron que la concentración de materia seca en el tallo es menor que en la hoja, en todas las edades del crecimiento. El contenido de proteína cruda en el tallo es alto (18%) en los primeros 50 días, decrece a 11% a los 80 días y en los restantes días se mantiene entre 6.5 y 7.5%. En la hoja, la proteína cruda fue superior a 20% en los primeros 80 días y disminuyó paulatinamente hasta un 14% al final del periodo. El contenido proteico de la flor fue similar al de la hoja (19%) a los 107 días y disminuyó a 10% después de los 120 días de crecimiento de la planta. La mazorca tuvo al inicio un contenido proteico ligeramente inferior a la flor, el cual creció en los días siguientes. El contenido de fibra detergente neutra en el tallo es de alrededor de 50% en los primeros 50 días, de 60% hasta los 80 días y superior a 70% a partir de los 90 días. Las hojas mostraron un contenido de pared celular (FDN) creciente de 55 a 72% hasta los 90 días de crecimiento y se estabilizó en 62-65% durante el restante periodo de desarrollo. La mazorca mostró contenidos variables entre 55 y 65% de pared celular (FDN). El contenido de fibra detergente ácida en el tallo fue de un 15% inferior a la fibra detergente neutro durante los primeros 80 días y posteriormente a los 90 días, creció esta diferencia alrededor de 25%. En la flor y en la mazorca el contenido de fibra detergente ácida fue entre 25 y 40%. El contenido de hemicelulosa fue entre 15 y 25% en el tallo, entre 22 y 35% en la hoja y entre 21 y 37% en la flor y la mazorca. Los valores nutricionales difieren de un tipo de maíz a otro, como se muestra en el Cuadro 2.

#### **2.1.6. Importancia del maíz forrajero**

Este cultivo tiene varias ventajas en la alimentación animal, entre las cuales, según Salgueiro (1995) y Cobos (2013) se encuentran:

- a) Presenta diversas formas de utilización, ya que el ganado la consume en verde, seco o ensilado.
- b) Gran adaptabilidad a las condiciones climatológicas del país.
- c) Excelente calidad nutritiva para la producción de leche.
- d) Facilidad de manejo manual y con maquinaria, tanto para su cultivo como para su utilización.

La popularidad de este forraje se debe al alto rendimiento que tiene, que es muy digerible y es altamente energético (Bates, 1998), una ventaja de la planta de maíz es que su digestibilidad permanece prácticamente constante entre el estado de grano lechoso y la madurez, la planta dispone de carbohidratos en abundancia, lo que nos asegura una rápida fermentación con un incremento del contenido de ácido láctico en el ensilaje (Salgueiro, 1995).

**Cuadro 2.** Composición química general de distintos tipos de grano de maíz (% en base seca).

Tipo de maíz	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto Etéreo	Carbohidratos
Salpor	12.2	1.2	5.8	0.8	4.1	75.9
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amiláceo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Reventador	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0
Negro	12.3	1.2	5.2	1.0	4.4	75.9

(Parsons, 2008)

### 2.1.7. Problemas de conservación del maíz forrajero

Uno de los puntos críticos para los ganaderos es el suministro de alimento de buena calidad durante todo el año, para ello tenemos que cosechar los forrajes en el punto óptimo de madurez para asegurar la calidad de estos, los pastos, la alfalfa o el maíz no se pueden conservar en estado verde, además de que para su almacenamiento necesitaríamos grandes espacios. Dentro de la actividad pecuaria, la conservación de forrajes constituye una herramienta útil para disponer de fuentes de alimento de calidad, para satisfacer los requerimientos nutritivos de los animales en el periodo crítico, ya sea invierno o época de lluvias (Hiriart, 2008). En zonas con períodos prolongados de sequía se genera la escasez de forraje, lo cual vuelve crítica la alimentación constante de los animales y como consecuencia la baja productividad de los mismos, reducción de la producción de leche, de los parámetros reproductivos y además, mortalidad de los animales (Franco et al., 2007).

El principal objetivo de la conservación de un forraje es mantenerlo almacenado sin perder la calidad inicial, el propósito de hacer ensilaje, al igual que la henificación, es aprovechar el forraje producido en la época de lluvias, cultivos o sobrantes de cultivos y alimentar el ganado con este material durante la época crítica (Franco et al., 2007; Chahine et al., 2009; Martínez-Fernández et al., 2014).

## **2.2. Tipos de Silo**

El silo es el depósito donde se va a llevar a cabo el proceso de ensilaje, existen diferentes tipos y su uso va de acuerdo a las necesidades de cada unidad de producción pecuaria, a la inversión con que se cuente y al espacio disponible que se tenga (Bravo, 2008). Se requiere saber cuánto forraje se tendrá disponible para ensilar, se estima que cada metro cúbico contiene 600 kg de forraje ensilado, de manera que si en una hectárea se producen 35 toneladas de maíz (grano más forraje), para ensilar dos hectáreas se requiere un silo de 116.67 m<sup>3</sup> (Cobos, 2013).

Según Wilkinson et al. (2003) y Yitbarek (2014) un silo es el contenedor o estructura que está sellada para impedir la circulación de aire dentro y fuera de la masa de cultivo. Al colocar el material dentro de una estructura, el objetivo es preservar y evitar la descomposición como ocurre en un montón de composta. La técnica de conservar forrajes bajo la forma de ensilado es muy antigua, datos sobre la práctica de ensilar maíz en EE.UU. datan desde 1875.

### **2.2.1. De trinchera y bunker**

El silo de trinchera está constituido por un piso sobre el que van dos muros paralelos del mismo material, puede ser de cemento, madera o metal; puede construirse sobre la superficie del suelo plano y bien drenado (Figura 4). La altura de los muros se elevan desde 1.5 metros a la altura deseada, el suelo tiene una pendiente de 2 a 3% hasta el frente y está cerrado por un muro en el extremo opuesto. Su llenado y vaciado son fácilmente mecanizables, facilita la compactación y presenta pérdidas

mínimas de materia seca, la capacidad depende de la cantidad para ensilar y de las necesidades del productor (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).



**Figura 4.** Silos de trinchera y bunker (Agronegociosintegrados, 2013; Geaagricola, 2015; Menara, 2015).

Los silos enterrados tienen algunas complicaciones constructivas, solo puede hacerse en zonas donde el suelo es firme, como terrenos con tepetate o suelos compactos, presentan riesgos de infiltración de agua, no tienen drenaje, son difíciles de compactar por lo que trae consigo putrefacciones del material y contaminación con tierra; tiene la ventaja que pueden aprovecharse paredes fijas (Bravo, 2008).

### **2.2.2. De pastel o torta**

Son muy sencillos y no poseen paredes, se forma amontonando el forraje, bien apisonado y recubierto con plástico, se deben poner llantas o costales de tierra en las orillas sobre el plástico para evitar que se levante; se tiene que establecer en zonas elevadas y en suelo filtrante ó con ligera pendiente del 5% para evitar encharcamientos, es de bajo costo (Figura 5) (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).





**Figura 5.** Silos de pastel o torta (Gaëtan, 2002; Agrodanca, 2012; Aguirre, 2013; Wikipedia, 2016).

### 2.2.3. De bolsa

El silo *press* (silo en bolsas largas) se realiza con embolsadoras, las cuales llenan bolsas de polietileno de un diámetro entre 2.4 y 3 metros y un largo de hasta 80 m; son de alto costo pero muy eficientes, puede almacenar hasta 70 toneladas (Figura 6). En los silos de menor tamaño se utiliza plástico de calibre 600 u 800, la maquina envuelve el material y forma las silo pacas de 1 a 2 toneladas. En las bolsas se va depositando el forraje picado y se compacta con la mano lo mejor posible, una vez llenas se aprietan y se amarran de modo que no entre aire, dependiendo del tamaño de la bolsa se pueden almacenar de 40 a 60 kilos. La conservación del forraje es buena si no hay roedores, es una excelente opción para cantidades pequeñas de forraje y se pueden manejar con facilidad (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).



**Figura 6.** Silos de bolsa (Ibañez, 2009; Prensa Fyo, 2015; Lozano, 2016).

#### 2.2.4. En tambos

Se coloca el forraje picado y se compacta con la mano o con una prensa manual lo mejor posible hasta que se llena el tambo, se coloca la tapa bien cerrada de modo que no entre aire (Figura 7). Es una excelente opción para cantidades pequeñas de forraje, de fácil almacenaje y manejo. Aunque si no se compacta adecuadamente las pérdidas pueden ser totales por la cantidad pequeña ensilada (Ibañez, 2009).



**Figura 7.** Silos en tambos (Ibañez, 2009; Gutierrez, 2013).

#### 2.3. Proceso de ensilaje

Wilkinson et al. (2003) y Yitbarek y Tamir (2014) mencionan que el ensilaje es cualquier cosa almacenada en un silo, que puede comprender un agujero en el suelo, un búnker, una torre, un montón cubierto, o un fardo envuelto; el término de ensilaje se reserva para los productos fermentados de los cultivos agrícolas. Hiriart (2008) y Cobos (2013) dice que es una técnica de conservación de forraje por vía húmeda, consiste básicamente en almacenar forraje en estado verde, proceso en el que bajo condiciones de ausencia de oxígeno (anaerobiosis), ocurre una serie de transformaciones químicas y bioquímicas (fermentación) por la acción de las bacterias sobre los azúcares, almidón y celulosa (carbohidratos), presentes en el forraje verde cortado; esta fermentación puede ser complementada con la adición de complejos bacterianos en forma de aditivos, que definen su calidad (Bates, 1998; Wilkinson et al., 2003; Franco et al., 2007; Hiriart, 2008; Yitbarek y Tamir, 2014).

El tamaño adecuado de picado del forraje, favorece la expulsión del aire y facilita el contacto entre las bacterias y los carbohidratos, además de facilitar enormemente la compactación; el tamaño del forraje debe oscilar entre 1 a 5 cm, procurando que la

mayor parte de las partículas estén de 2 a 3 cm. Un picado muy excesivo puede alterar la fermentación en el rumen, con la cual disminuye la rumia y por ende la digestibilidad del ensilado (Franco et al., 2007; Bravo, 2008; Hiriart, 2008). El picado adecuado también acelera la formación de ácido láctico durante las primeras etapas del proceso (Bates, 1998; Hiriart, 2008).

El compactado es con el objetivo primordial de extraer el oxígeno, ya que las células de la planta siguen respirando y produciendo CO<sub>2</sub>, lo cual produce el calentamiento del ensilado, en un mal compactado es mucho más probable encontrar hongos, levaduras y bacterias perjudiciales que afectan la calidad del ensilado. Una insuficiente compresión puede deberse a un inadecuado amontonamiento, a forraje muy seco o poco picado, esto favorece la entrada de aire y la acentuación de fenómenos respiratorios con una elevación de la temperatura. La elevada temperatura perjudica las bacterias lácticas, mientras que no afecta a los Clostridios (Bates, 1998; Franco et al., 2007; Bravo, 2008; Cobos, 2013; Yitbarek y Tamir, 2014).

El tapado debe realizarse inmediatamente después de que se termina el llenado y la compactación para que la última capa del material que se colocó quede aislada rápidamente del ambiente, debe estar bien cubierto y protegido lo más herméticamente posible, se cubre con un plástico, se colocan encima sacos de tierra o llantas, que eviten su movimiento y la entrada de aire y agua. Se estima que un silo no cubierto tiene pérdidas de hasta 90% en las primeras 10 pulgadas de profundidad, contra el 20% de merma en los silos cubiertos (Bates, 1998; Bravo, 2008; Hiriart, 2008; Cobos, 2013; Yitbarek y Tamir, 2014).

La fermentación se puede dividir en cinco fases (Figura 8):

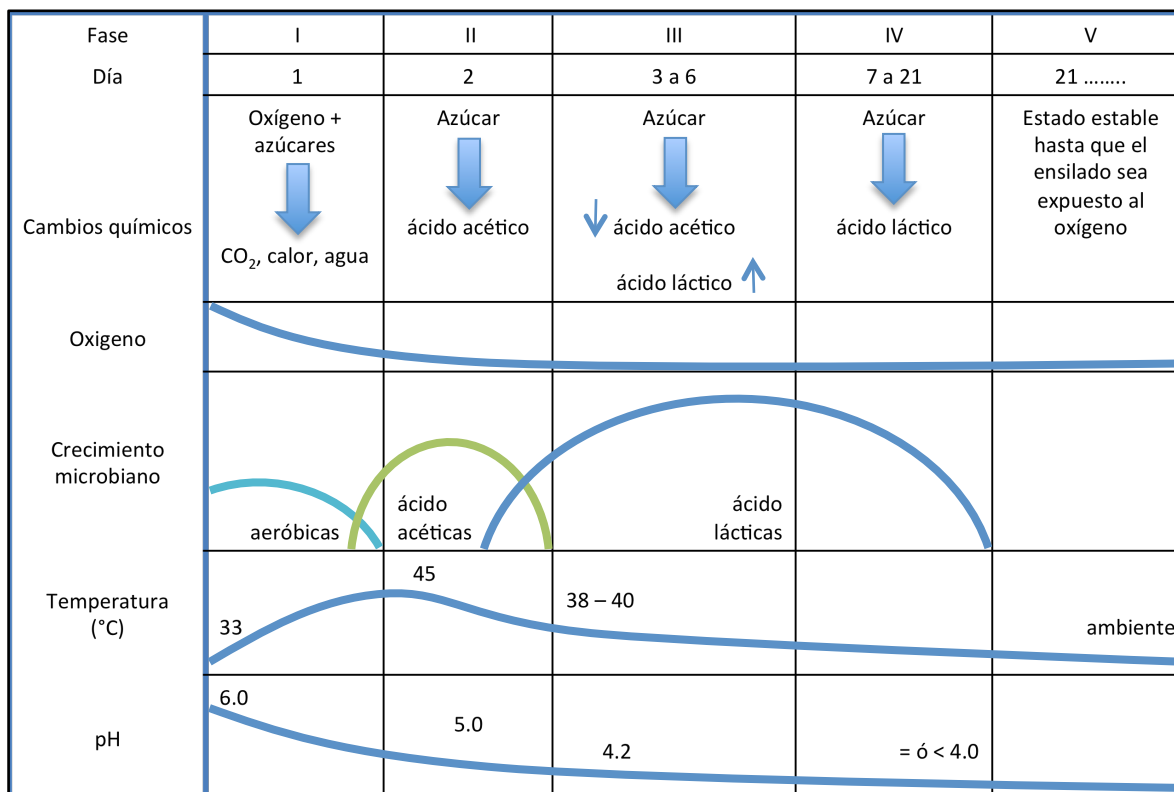
- 1) La primera fase empieza cuando el forraje picado es colocado en el silo e incluye la respiración final de las células vegetales con producción de calor y dióxido de carbono. Es muy importante esta fase, ya que el calor producido determina si se establecerá una temperatura óptima y si el dióxido de carbono producido reducirá la cantidad de oxígeno, estableciendo condiciones anaeróbicas para las bacterias lácticas.

- 2) En la segunda fase se marca el final de la respiración de las células y el principio de la producción de ácido acético por la acción de bacterias coliformes sobre el material ensilado.
- 3) En la fase tres, la producción de dicho ácido disminuye el pH lo suficiente para impedir el crecimiento de las bacterias acéticas que podrían dar lugar a compuestos indeseables. Como las bacterias acéticas no toleran el pH bajo, su número disminuye rápidamente, mientras las bacterias lácticas empiezan a proliferar, aquí actúan los Streptococcus y los Lactobacilos.
- 4) La fase cuatro se inicia entre el tercero y quinto día y requiere de 15 a 20 días para completarse. Las bacterias lácticas dominan la biota y gradualmente incrementan el contenido de ácido láctico del ensilado, hasta que la acidez llega a ser lo bastante alta para interrumpir la acción de las bacterias, con una temperatura de 29° C.
- 5) La fase cinco representa un periodo indefinido que refleja el valor relativo de los cambios ocurridos durante las otras cuatro fases (Luis et al., 1991; Bates, 1998; Wilkinson et al., 2003; Franco et al., 2007; Bravo, 2008; Hiriart, 2008; Cobos, 2013; Yitbarek y Tamir, 2014).

La temperatura es uno de los factores relacionados con el éxito del ensilado, existe una temperatura óptima para la multiplicación de las bacterias lácticas, la cual varía entre 27 y 38° C. Un ensilaje frío es de color pardo verdoso, de olor fuerte, viscoso, tiene un gusto insípido y el pH es de 5 ó superior; un ensilado a temperatura adecuada es de color verde o amarillo, un olor agradable, de gusto ligeramente ácido y un pH por debajo de 4.5; un ensilado sobrecalentado varía en color de marrón a negro y presenta un olor desde un azúcar ligeramente quemada hasta heno pasado, con un pH variado (Bravo, 2008; Hiriart, 2008; Cobos, 2013).

Las bacterias ácido lácticas, que son anaerobias facultativas, siguen multiplicándose una vez ensilado el forraje, fermentando los carbohidratos hidrosolubles con producción de ácidos orgánicos, principalmente láctico, el cual disminuye el pH. Las bacterias productoras de ácido láctico se componen de dos grupos principales: los que fermentan azúcares de hexosa a ácido láctico solo (homolácticas) y las que fermentan hexosa a ácido láctico y otros productos finales (heterolácticas). Las bacterias

homolácticas reducen una molécula de fructosa o glucosa a dos moléculas de piruvato por la vía glucolítica, estas moléculas de piruvato a continuación se reducen a dos moléculas de ácido láctico (Luis et al., 1991; Wilkinson et al., 2003; Franco et al., 2007; Hiriart, 2008). Los ácidos inhiben el crecimiento de otras bacterias hasta que cesa la actividad microbiana a un pH de 3.8 a 4, permaneciendo estabilizado el ensilaje mientras se mantengan las condiciones de anaerobiosis (Hiriart, 2008).



**Figura 8.** Fases del proceso de fermentación (Beltran, 2013; Espinoza, 2014)

Si no se mantienen las condiciones anaerobias, los clostridios sacarolíticos se multiplican y fermentan el ácido láctico y los carbohidratos hidrosolubles con formación de ácido butírico, lo que eleva el pH. Los clostridios proteolíticos proliferan, se libera amoníaco y se aumenta más el pH. Otros microorganismos que se encuentra normalmente en los forrajes son las bacterias coliformes, destacando las ácido acéticas (Hiriart, 2008; Yitbarek y Tamir, 2014). Otros grupos de bacterias pueden desarrollarse en el ensilaje con pérdidas tanto de materia seca y la energía. Algunos coliformes, enterobacterias pueden fermentar la glucosa a lactato, acetato, etanol y succinato. Las levaduras pueden convertir la glucosa en dióxido de carbono y agua en presencia de

oxígeno y puede fermentar la glucosa a etanol en ausencia de oxígeno, con una pérdida sustancial de materia seca pero poca pérdida de energía. Los clostridios pueden fermentar lactato a butirato, con pérdida significativa tanto de materia seca y energía. Este proceso se conoce como fermentación secundaria (Figura 9) (Luis et al., 1991; Wilkinson et al., 2003; Yitbarek y Tamir, 2014).



**Figura 9.** Fermentación secundaria en ensilados por microorganismos indeseados.

### 2.3.1. Estabilidad aeróbica

La estabilidad aeróbica es un término utilizado para describir el tiempo que el ensilaje se mantiene frío y no sufre deterioro después de expuesto al aire. El aire es perjudicial para la calidad del ensilado porque permite que los microorganismos de descomposición aeróbica se activen. El calentamiento del material después de abierto el silo es iniciado por la reactivación de levaduras, estas degradan el ácido láctico generando CO<sub>2</sub>, agua y calor, el pH aumenta y en consecuencia hongos y bacterias aeróbicas son reavivadas y aumentan el deterioro, pérdidas de nutrientes y de



palatabilidad, formación de compuestos indeseables como micotoxinas (Filya et al., 2004; Herrmann et al., 2015). El uso de *L. buchneri* como inóculante de ensilajes, puede mejorar la estabilidad aeróbica de estos mediante la inhibición de la actividad de las levaduras, también se puede combinar con *L. plantarum* (Filya et al., 2006).

#### **2.4. Aditivos para ensilar**

Se usan aditivos para mejorar o alterar la fermentación, como se ha mencionado, cuando un forraje con humedad se coloca en un silo, las bacterias convierten los carbohidratos en ácido láctico o acético hasta que el pH alcanza un valor igual o menor a 4, interrumpiéndose entonces la fermentación. Una vez que la acidez ha llegado a este punto, el ensilado puede conservarse por años siempre que esté resguardado del aire y el agua. Es importante recordar que los aditivos no convertirán el forraje de baja calidad en un buen ensilaje, pero pueden ayudar a convertir el forraje de alta calidad en ensilaje de excelente calidad. De tal manera que los aditivos pueden mejorar el proceso de fermentación, reducir las pérdidas, reducir el deterioro aeróbico, mejorar la calidad higiénica, limita la fermentación secundaria y mejora la estabilidad aeróbica. Los aditivos se clasifican en: estimulantes, inhibidores, nutrientes y absorbentes; en función de sus propiedades, en general se emplean para acelerar la acidificación del ensilado, servir de sustrato y fuente de energía a los microorganismos, aumentar la proteína, controlar la población de microorganismos indeseables y aumentar la palatabilidad (Hiriart, 2008; Yitbarek y Tamir, 2014).

Los siguientes son algunos ejemplos de los aditivos más usados en el proceso de ensilaje (Figura 10):

- Ácidos: para aumentar la acidez del ensilado se ha recurrido a la adición de ácidos minerales diluidos, ácidos como el clorhídrico y sulfúrico siempre presentan algún peligro en su manejo, por lo que es más utilizado el ácido fórmico.
- Metabisulfito de potasio: se recomienda como un efectivo paralizante de la actividad microbiana del ensilaje, su empleo resulta costoso.
- Sueros y melazas: se emplean con la intención de mejorar la calidad, elevar el

contenido de azúcares disponibles.

- Materia seca: con el fin de disminuir la humedad, sin duda se obtiene un efecto superior si la materia seca que se agrega es rica en carbohidratos.
- Inoculantes microbianos: mejoran las condiciones para la fermentación y la estabilidad aeróbica inhibiendo el crecimiento de hongos y levaduras (Bates, 1998; Hiriart, 2008; Yitbarek y Tamir, 2014).



**Figura 10.** Aditivos usados en ensilajes.

#### 2.4.1. Inoculantes microbianos

Los inoculantes se agregan al ensilaje para dominar la población de bacterias epífitas, la inoculación con bacterias ácido lácticas representa una vía alternativa para

mejorar la calidad de la conservación (Luis et al., 1991; Yitbarek y Tamir, 2014). Los inoculantes contienen bacterias ácido lácticas seleccionadas para dominar la fermentación, no solamente por su habilidad por acidificar, y por lo tanto preservar alimentos de las esporas, sino también su implicación en la textura, sabor, olor y desarrollo de aroma de alimentos fermentados. Comprende un diverso grupo de organismos Gram-positivos, no formadores de esporas, no motilidad, son cocos y bacilos y son anaerobios facultativos (Bates, 1998; Huertas, 2010).

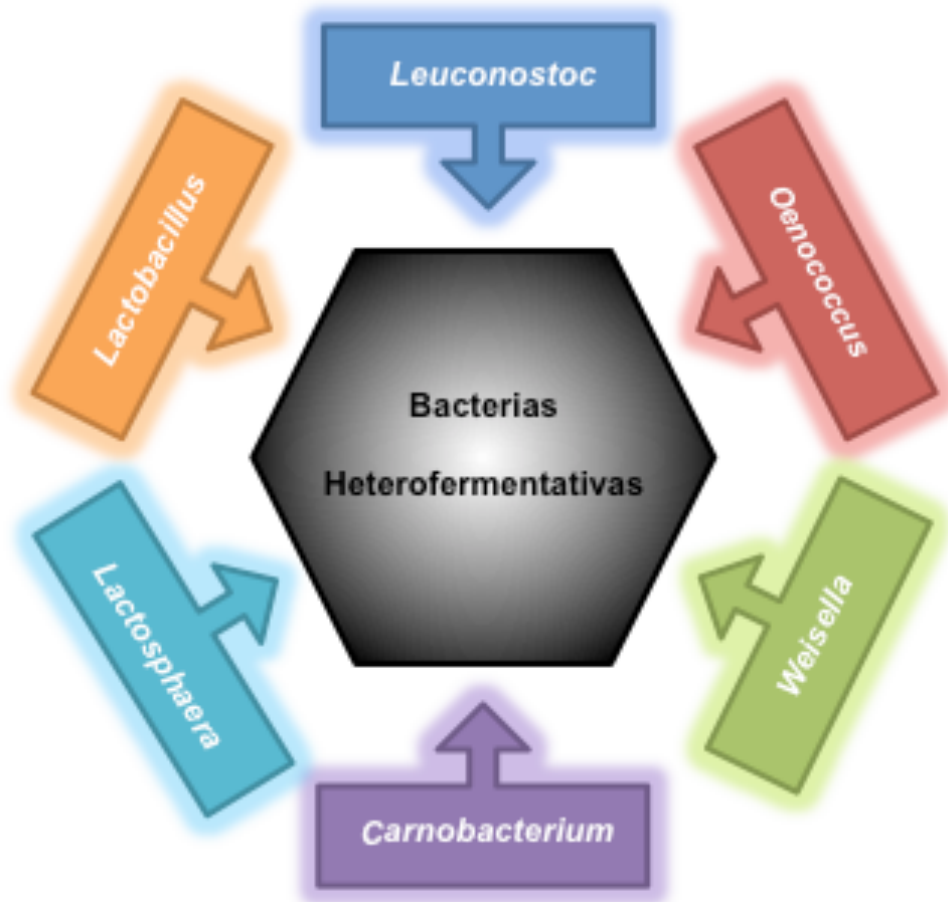
Se clasifican de acuerdo a la manera en que fermentan la glucosa de la planta, de tal manera que son homofermentativas o heterofermentativas.

- ✓ Las homofermentativas sólo producen ácido láctico y entre ellos se encuentran especies de *Lactococcus*, algunos *Lactobacillus* como *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus* spp, *Enterococcus* spp, *Vagococcus* y *Streptococcus* (Figura 11).



**Figura 11.** Especies más comunes de bacterias homofermentativas.

- ✓ Las heterofermentativas producen ácido láctico, ácido acético o etanol y bióxido de carbono; son especies como algunos *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella*, *Carnobacterium* y *Lactosphaera*, *Lactobacillus buchneri* es el mejor ejemplo de estos (Figura 12) (Hiriart, 2008; Contreras-Gevea y Muck, 2009; Huertas, 2010; Ramírez et al., 2011).



**Figura 12.** Especies más comunes de bacterias heterofermentativas.

Durante la homofermentación, cada molécula de glucosa produce dos moléculas de ácido láctico, una mayor recuperación de materia seca y poca pérdida de energía en el ensilaje. Las homofermentadoras ayudan a disminuir más rápido el pH, inhibiendo otras bacterias y conservando la proteína. El pH es más elevado cuando la fermentación es dominada por heterofermentadoras, por cada molécula de glucosa usada es producida una molécula de ácido láctico, una de ácido acético o etanol y

bióxido de carbono. Estas bacterias pueden convertir ácido láctico en acético, el ácido acético es un buen inhibidor de levaduras y hongos, de modo que puede mejorar la estabilidad aeróbica del ensilado (Hiriart, 2008; Contreras-Gevea y Muck, 2009; Huertas, 2010).

La combinación de bacterias lácticas homo y heterofermentativas proporciona una buena fermentación y recuperación de materia seca a través de una mayor concentración de ácido acético y una mejor estabilidad aeróbica, además, el pH disminuye más rápido con la combinación de estas bacterias (Hiriart, 2008; Contreras-Gevea y Muck, 2009). La importancia de lograr fermentaciones lácticas en los ensilajes no se relaciona sólo con la eficiencia que desde el punto de vista energético y de conservación tiene este tipo de proceso, sino también con las propiedades antimicrobianas que poseen las bacterias ácido lácticas, que actúan sobre otros microorganismos indeseables y contribuyen así a conservar mejor el forraje (Luis et al., 1991).

## **2.5. Características, composición química y clasificación de ensilados**

El ensilaje es a menudo comparado con el heno hecho del mismo cultivo y las diferencias más obvias son en la concentración de agua y en el pH (acidez) de los dos métodos de conservación. El proceso de ensilaje es potencialmente tan eficiente como la producción de heno en lo que respecta a la preservación de los nutrientes importantes en cultivos forrajeros, la correcta conservación que se consigue con una buena fermentación es, después de la digestibilidad, el factor más importante que determina la calidad del ensilado y su consumo (Wilkinson et al., 2003; Hiriart, 2008).

Las primeras características a evaluar la dan los parámetros sensoriales, que son una prueba subjetiva basada en la apreciación del olor, color, textura, estructura y presencia o ausencia de mohos u hongos, obteniéndose una información preliminar de su calidad (Cuadro 3) (Bates, 1998; Hiriart, 2008).

El cambio de composición más importante es la conversión de los carbohidratos fermentables (solubles en agua) principalmente: las hexosas (monosacáridos de seis

carbonos) y fructanos (polímeros de fructosa) en ácidos grasos volátiles y ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico. Los ácidos grasos volátiles se originan como consecuencia de las reacciones de fermentación, el ácido láctico favorece notablemente la calidad de la masa ensilada, el ácido butírico es un indicador de mala calidad, la formación de ácido acético proviene de cultivos ricos en proteína, y es el responsable del olor a vinagre cuando su contenido es desmedido, pero si sus valores son normales aumenta la digestibilidad del ensilaje (Wilkinson et al., 2003; Hiriart, 2008).

**Cuadro 3.** Características sensoriales del ensilaje.

	<b>Fermentación láctica</b>	<b>Fermentación butírica</b>	<b>Fermentación pútrida</b>	<b>Calentado</b>	<b>Mohoso</b>
<b>Color</b>	Amarillo-verdoso	Verde oscuro a pardo	Verde oscuro a negro	Marrón	Manchas blancas
<b>Olor</b>	Agradable picante	Desagradable no picante	Repulsivo	Caramelo atabacado	Rancio no picante
<b>Textura</b>	Firme compacto	Blando viscoso	Blando gelatinoso	Floja	Floja gelatinosa
<b>pH</b>	3.7 – 4.2	> 4.5	> 5	Variable	> 5
<b>Aceptabilidad</b>	Buena	Muy baja	Rechazo	Buena	Rechazo
<b>Valor nutritivo</b>	Alto	Regular	Muy bajo, toxico	Bajo	Muy bajo, toxico

(Hiriart, 2008)

El valor nutritivo del ensilado dependerá, en primer término, de los cambios provocados por la actividad de las enzimas vegetales y microbianas durante el periodo de conservación. Un ensilaje bien hecho debe conservar, en elevada proporción, el valor nutritivo de la planta que se utilizó en su preparación y ser apetecido por el ganado (Salgueiro, 1995).

El momento óptimo de corte del maíz para su ensilaje, se sitúa entre el 30 y el 35% de contenido en MS (Salgueiro, 1995; Calsamiglia et al., 2004), tanto desde el punto de vista productivo como de la calidad del forraje. La aptitud al ensilaje del maíz

es buena debido a que no le faltan carbohidratos para ser transformados en ácido láctico, presenta un bajo poder tampón que permite que el pH baje rápidamente. Los ensilados de maíz deben poseer un pH bajo, cercano o por debajo de 4 (Cuadro 4) (Calsamiglia et.al., 2004).

**Cuadro 4.** Composición química del ensilaje de maíz (% MS).

MS	pH	Cenizas	PC	NH <sub>4</sub>	EE	FC	FND	FAD	Almidón
25-30	3.76	5.43	8.28	0.21	4.40	23.17	47.63	26.17	24.22
30-35	3.80	4.94	7.62	0.23	4.20	20.98	44.53	23.94	28.23
>35	3.89	4.80	7.58	0.23	3.76	19.71	41.38	22.66	33.30

Donde: MS (materia seca), PC (proteína cruda), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amonio), EE (extracto etéreo), FC (fibra cruda), FDN (fibra detergente neutra), FDA (fibra detergente ácida) (Calsamiglia et al., 2004).

El manejo del silo deberá ser muy cuidadoso para evitar que se produzcan pérdidas importantes, ya que es muy fácil que aparezca moho, especialmente con tiempo caluroso, en silos no muy bien compactados se puede advertir la presencia de moho en el interior, incluso a 2 m del frente. Sin embargo, una buena compactación, que se logra pisando consistentemente el maíz en el momento del llenado y el corte limpio en el frente del silo durante el vaciado, serán los principales factores a tener en cuenta para evitar el deterioro aeróbico (Salgueiro, 1995).

Una vez que se tiene el ensilado, ¿cómo saber si usted tiene o no un forraje de alta calidad? Es importante tomar una muestra representativa de su ensilado y enviarla a un laboratorio certificado. ¿Cuál es el rango deseable de valores?. Los valores objetivo de calidad de un ensilado se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Valores objetivo del ensilado de maíz (% MS).

Nutriente	Valor objetivo	Definiciones	Razonamiento
<b>Materia seca (MS)</b>	30 a 40%	Porcentaje del forraje que no es agua.	Contenido de humedad excesiva o inadecuada puede causar el deterioro y disminuir la calidad del ensilaje. Demasiado seco se asocia generalmente con un contenido reducido de energía y digestibilidad.
<b>Proteína cruda (PC)</b>	7 a 9%	Cantidad total de nitrógeno (N) en un forraje; porcentaje de N multiplicado por 6.25 es igual a PC	Alto contenido de proteínas es deseable. Baja en proteína puede ser causado por debajo de la fertilización, las pérdidas de nitrógeno debido a la lluvia, la competencia de malas hierbas o de recolección inadecuada y / o almacenamiento.
<b>Proteína disponible</b>	Lo más cerca posible a la PC	Un valor calculado ajustando PC total de proteínas dañadas por calor utilizando detergente ácido insoluble PC (ADICP).	Cuanto más disponible mejor.
<b>Detergente ácido insoluble PC (ADICP)</b>	<0.7%	Proteína que se ha convertido químicamente, relacionado con los carbohidratos para formar un compuesto no digerible, o proteína disponible.	Los niveles superiores a 0.7% indican daño por calor.
<b>Proteína soluble como % de PC</b>	40 a 60%	Fracción de proteína compuesta de N no proteico y proteína verdadera, que se degrada rápidamente en el rumen.	Ensilados con mayor proteína soluble tendrán grano, que es más fermentable en el rumen y puede aumentar el riesgo de acidosis.
<b>La proteína degradable como % de PC</b>	60 a 75%	Proteína o N que se degrada en el rumen y se incorpora en la proteína microbiana o liberado en forma de	Una ingesta balanceada de proteínas degradable y proteína de escape es mejor.



amoniaco.			
<b>PC Detergente Neutro insoluble (NDICP)</b>	1 a 1.6%	Cantidad de PC insoluble en solución detergente neutro, por lo tanto asociada con la pared celular.  Es lentamente degradable en el rumen.	NDICP representa la parte de la proteína no degradable que está disponible para el animal.
<b>Fibra Detergente Neutro (FDN)</b>	35 a 55%	Parcialmente disponible para los animales. Porcentaje de material de la pared celular en un forraje; celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina y la proteína disponible.	Los valores de FDN aumentarán en general, con ensilados bajos de granos, estrés o falta de madurez.  FDN es un predictor inverso de admisión (FDN más alta es igual a la ingesta más baja y viceversa).
<b>Fibra detergente ácido (FDA)</b>	20 a 33%	Porcentaje de material vegetal altamente digerible en un forraje.  Se compone de celulosa, lignina, cutina, sílice, pectina, y la proteína disponible.	Alto contenido de FDA es un problema para las mismas razones que alto contenido de FDN.  FDA se correlaciona negativamente con la digestibilidad y la energía.
<b>Lignina</b>	2.08 a 4.01%	Un contenido de polímero de la pared celular que proporciona estructura a la planta.  No es digerible y se puede unir a otros contenidos de la planta y hacerlos también indigestible.	Lignina aumenta a medida que la planta madura y está inversamente relacionada con la digestibilidad de FDN.  El aumento del contenido de lignina reduce la digestibilidad de la FDN y puede reducir la ingesta.  Los valores de lignina varían debido a la variedad, la temperatura y la sequía. Las temperaturas más altas durante la estación de crecimiento tienden a aumentar la lignina. La sequía tiende a aumentar la FDN, pero disminuirá ligeramente la lignina.
<b>Carbohidratos no estructurales (CNE) o carbohidratos no fibrosos</b>	23 a 43%	Altamente digerible.  Consiste principalmente de almidones, azúcares y pectinas que son fermentados rápidamente en	Menor contenido de CNE o CNF indica estrés o ensilaje de maíz inmaduros.  Los niveles más altos pueden disminuir la digestión de fibra y

<b>(CNF)</b>		el rumen.	causar malestar digestivo si no se formulan raciones correctamente.
<b>Almidón</b>	> 28%	Forma de carbohidratos almacenado en las plantas. Es el polisacárido específico de muchas subunidades de glucosa.	Por lo general, un mayor contenido es mejor, los porcentajes más altos de almidón son especialmente beneficiosos cuando se trata de altos precios del maíz. Si los niveles de almidón son <28% esto suele indicar que el ensilado se cortó temprano.
<b>Azúcares</b>	8 %	Se refiere genéricamente a los monosacáridos y disacáridos.	Los azúcares son los carbohidratos que son fermentados durante el proceso de ensilaje, lo que reduce el pH, y la estabilización de la masa de ensilaje.
<b>Grasa cruda</b>	2.8 a 3.8%	Grasas, aceites, pigmentos y otras sustancias solubles.	Fuente de energía.
<b>Ceniza</b>	<6%	Los minerales presentes en la muestra.	Mayores niveles de ceniza indican contaminación por el suelo, que no es digerible.
<b>Total de nutrientes digestibles (TDN)</b>	67 a 74%	Suma de todos los nutrientes orgánicos digeribles que están disponibles para el animal.	Podría ser utilizado para expresar el valor energético del ensilaje de maíz.
<b>Energía neta de lactación (ENL)</b>	> 1.41 Mcal / Kg	Una estimación del valor energético de un alimento utilizado para la producción de leche.	Mega calorías de energía para la lactancia. Los valores más altos indican por lo general un mejor ensilado de maíz de calidad.
<b>Energía neta de mantenimiento (ENM)</b>	> 1.41 Mcal / Kg	Una estimación del valor energético de un alimento usado para mantener un animal en equilibrio energético.	Mega calorías de energía para el mantenimiento.
<b>Energía neta de ganancia (ENG)</b>	0.88-1.10 Mcal / Kg	Una estimación del valor energético de un alimento utilizado para el aumento de peso. Energía por encima de	Mega calorías de energía para la ganancia.

mantenimiento.			
<b>Amoníaco</b>	<0.9%	Compuesto de gas de N y H (NH <sub>3</sub> ).	Mayores concentraciones de amoníaco indican la degradación de PC y la pérdida de nutrientes. También puede indicar la fermentación clostridiana.
<b>Ácido láctico</b>	> 4%	Ácido incoloro, líquido orgánico que resulta de la fermentación; 2-hidroxipropanoico (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> ).	Mayor ácido láctico es mejor. Los niveles más altos de ácido láctico indican una buena fermentación y mejor conservación. Los niveles más bajos indican que el ensilaje no se cosechó en el contenido de humedad correcto, longitud de corte inadecuado, no se llenó suficientemente rápido, de baja densidad, o la exposición al oxígeno.
<b>Ácido acético</b>	< 3%	Ácido corrosivo, incoloro orgánico con olor desagradable (CH <sub>3</sub> COOH).	El ácido acético es producido por las levaduras. Los niveles altos pueden indicar que el silo no se llenó con la suficiente rapidez, era demasiado seco, o no se trató adecuadamente y pueden reducir la ingesta. Algunos inoculantes también pueden producir ácido acético.
<b>Ácido butírico</b>	< 0.13%	Viscoso, de olor fétido, ácido carboxílico líquido; ácido butanoico (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> ).	Los niveles altos indican fermentación clostridiana y pueden causar problemas de consumo e intoxicación.
<b>Relación de ácido láctico / ácido acético</b>	1.5 a 4.0	Relación de ácido láctico a ácido acético, lo que significa calidad general y preservación.	Esta relación indica la eficiencia de la fermentación del ensilaje. Una relación alta indica un proceso de fermentación más eficiente. Si un inoculante, tal como <i>Lactobacillus buchneri</i> ha sido añadido esta relación no es un buen indicador de la calidad y la conservación porque <i>Lactobacillus</i>

---

*buchneri* convierte cantidad moderada de ácido láctico a ácido acético.

<b>Ácidos Grasos Volátiles (AGV) Puntuación</b>	> 8.0	La puntuación AGV toma en consideración el ácido láctico a la proporción de ácido acético más cualquier relación negativa de ácido butírico.	Las puntuaciones altas indican ácidos beneficiosos y predominantes, los ácidos adversos son mínimos.
---	-------	--	--

(Chahine et al., 2009).

## 2.6. Empleo de ensilados de maíz en la producción animal en México

La intensificación de la ganadería introduce técnicas de conservación de forrajes como la henificación y el ensilaje para incrementar el potencial productivo de los forrajes, utilizando y eligiendo eficientemente los recursos materiales (Franco et al., 2007). El primer ensilado de maíz se realizó en Estados Unidos en 1875, desde esa época ha sido uno de los componentes más importantes en el sistema de producción lechero (Salgueiro, 1995).

El maíz forrajero es uno de los cultivos anuales de mayor importancia en el ciclo primavera-verano en condiciones de riego, del cual se obtienen rendimientos de 15 a 18 toneladas/ha de forraje seco en sólo cinco meses (Becerra, 2004). El ensilaje de maíz se ha convertido en un componente más grande de forraje en la ración de la producción lechera (Roth, 2005). En la actualidad es generalmente admitido que el ensilado de maíz representa para el ganadero la fuente más económica de forraje de buena calidad, por lo cual su uso ha crecido en la última década (Bravo, 2008; Nestor, 2010). El ensilado de maíz forrajero, por su palatabilidad y riqueza energética, se presenta como un forraje de gran interés para la producción de carne y leche, con posibilidades de obtener producciones por hectárea superiores a las que se obtienen con praderas. Es de suma importancia que se tome en cuenta las características de los diferentes híbridos de maíz, ya que poseen diferente potencial de rendimiento, contenido de materia seca en relación con la madurez de la planta de maíz, digestibilidad del almidón y FDN (Roth, 2005).

En comparación con otros cereales ofrece una rentabilidad mayor, teniendo un menor riesgo a fenómenos meteorológicos, como las heladas tempranas o lluvias invernales que afectan el grano; tiene la gran ventaja de que después de cortado y guardado en el silo, se puede utilizar a los 21 - 30 días si se requiere, si no puede quedarse por más tiempo; se han encontrado ensilajes de 5 a 10 años conservados con buena calidad. Todo depende del proceso eficiente con que se llevó a cabo el ensilaje (Salgueiro, 1995; Bravo, 2008).

Al tomar decisiones acerca de la calidad del ensilaje de maíz, las necesidades de los productores de leche pueden variar enormemente (Figura 13). Si la extensión de la tierra es limitada, entonces el rendimiento de tonelaje total es extremadamente importante, o si la presión de la enfermedad es alta, entonces los rasgos son importantes (Nestor, 2010).



**Figura 13.** Ganado alimentado con ensilaje de maíz (Jess, 2011; Agrotterra, 2012; Gonzalez, 2015; Inta, 2016).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la adición de dos complejos de bacterias lácticas (CBL) experimentales y 2 comerciales sobre la calidad del ensilado de maíz.

#### **3.2. Objetivos particulares**

Evaluar la calidad del ensilado de maíz en función de las características sensoriales (color, olor, textura y presencia de hongos), químicas (contenido de materia seca, proteína cruda, fracciones de fibra, pH, ácido láctico, ácidos grasos volátiles y amonio) y biológicas (digestibilidad *in vitro* de materia seca y de materia orgánica) bajo las siguientes condiciones:

- a) Sin adición de inoculante.
- b) Adición de dos inóculos comerciales diferentes.
- c) Adición de dos complejos de bacterias lácticas experimentales.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo, se llevó a cabo el siguiente experimento.

### 4.1. Experimento

Ensilado de maíz en tambos con la adición de diferentes inoculantes de bacterias ácido lácticas.

- **Cultivo de maíz:** en la Planta de NUTEK, ubicada en Tehuacán, Puebla, se sembraron 6,000 semillas de maíz forrajero bajo condiciones de invernadero, en un área de 435 m<sup>2</sup> (Figura 14).



**Figura 14.** Maíz sembrado en invernadero.

- **Tratamientos de los ensilados:** los tratamientos (inóculos) a evaluar fueron los siguientes:

Tratamiento 1: Control: sin adición de inoculante.

Tratamiento 2: Inóculo comercial 1: *Lactobacillus plantarum* (homo), *Pediococcus acidilactici* (homo), *Enterococcus faecium* (homo), *Lactobacillus salivarium* (homo) (dosis  $2.1 \times 10^{10}$  UFC/g).

Tratamiento 3: Inóculo comercial 2: *Pediococcus pentosaceus* (homo), *Lactobacillus plantarum* (homo),  $\beta$ -glucanasa,  $\alpha$ -amilasa, xilanasas, galactomanasa (dosis  $8 \times 10^{10}$  UFC/g).

Tratamiento 4: Bal uno (complejo de bacterias lácticas a prueba: *Lactococcus lactis* (homo), *Lactobacillus brevis* (hetero) (dosis  $10 \times 10^6$  UFC/g).

Tratamiento 5: Bal dos (complejo de bacterias lácticas a prueba: *Lactobacillus pentosus* (hetero), *Lactococcus lactis* (homo) (dosis  $10 \times 10^6$  UFC/g).

\* homo= Homofermentativa, hetero= Heterofermentativa

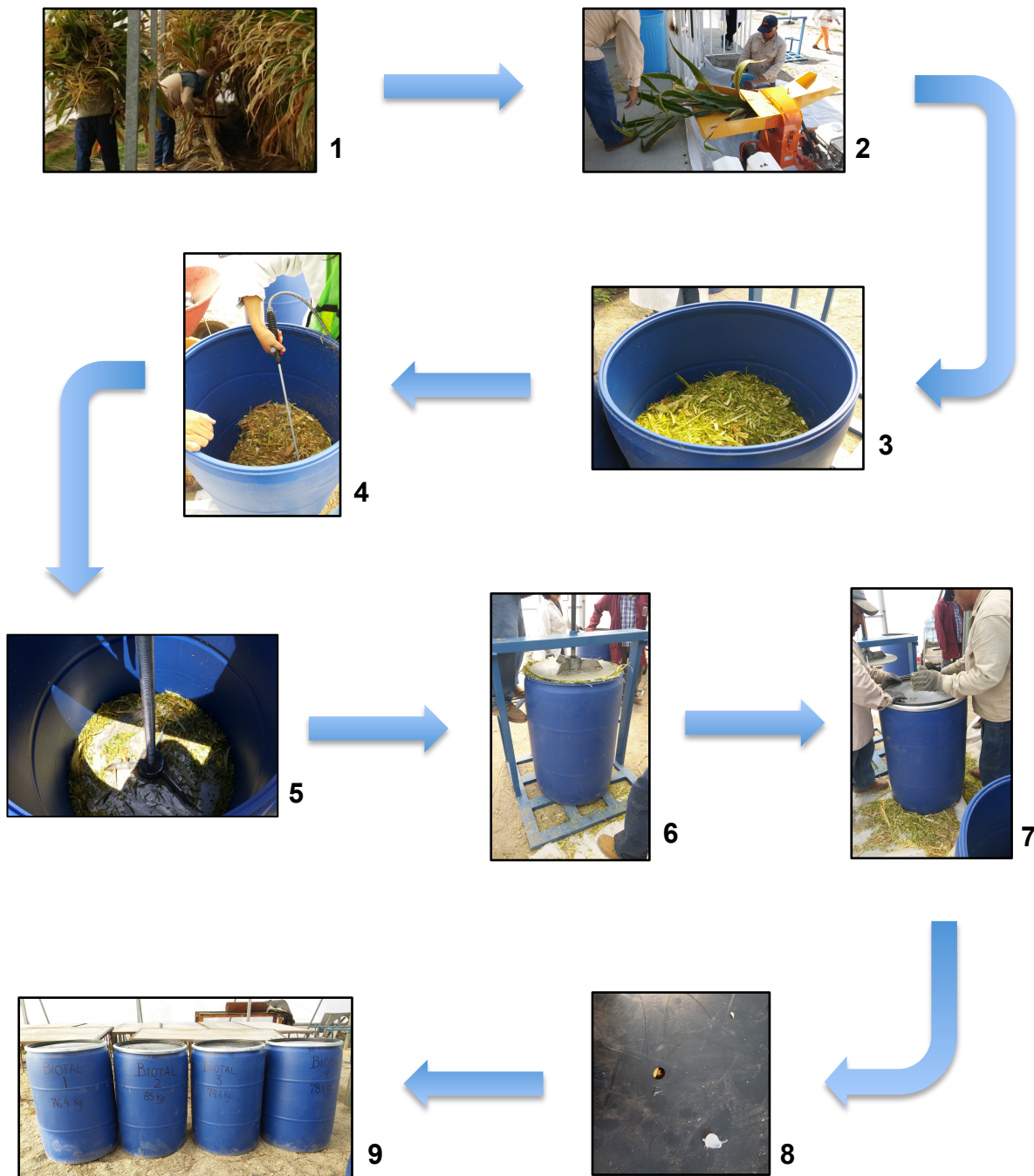
Cada tratamiento se llevó a cabo por cuadruplicado en tambos plásticos de 200 litros (Figura 15).



**Figura 15.** Tratamientos de los ensilados de maíz.

- **Elaboración del ensilado:** en la Figura 16 se explica el procedimiento, la planta de maíz se cortó manualmente a 20 cm del suelo (1); se pasó por tres veces en una picadora de martillos para obtener el tamaño de partícula de aproximadamente 5 cm (2); el material picado se colocó en tambos (de 200 litros) hasta una tercera parte (3); para los tratamientos 2, 3, 4 y 5 se asperjó el inoculante entre capas antes del prensado (4); se presionó con una prensa manual de tornillo hasta que quedo bien compactado (5); se realizó este proceso repetidamente hasta que se llenó el tambo a 5 cm de la tapa (6). Posteriormente se colocó la tapa de plástico y se cerró con un cintillo de metal a presión (7). Se realizó una perforación con taladro en la tapa del tambo para permitir la salida de gas, ésta se selló con silicón de manera superficial para que la presión del gas pudiese botar el tapón (8). Cuando ya no se escuchó salida de gas se colocó de manera permanente una cantidad más abundante de silicón para realizar un buen sellado.. Los tambos se colocaron en una zona bajo techo donde se dejaron ensilar durante 42 días (9).





**Figura 16.** Diagrama de flujo del proceso de ensilaje durante el experimento.

- **Evaluación de calidad de los ensilados:** A la apertura de los ensilados se realizó una inspección (evaluación sensorial) del color, olor, textura y si había o no presencia de hongos en los ensilados muestreados. Se tomó la muestra a esos días de ensilaje, las muestras obtenidas por tambor se colocaron en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas y se congelaron.

De los ensilados se analizaron:

- ✓ En el Laboratorio de NUTEK se llevó a cabo el análisis en cuanto a su pH, contenido de materia seca, cenizas, proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl, extracto etéreo y fibra cruda (AOAC, 2002); y fracciones de fibra (FDN y FDA) (Van Soest et al., 1991).
- ✓ En el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN) se determinó el contenido de ácidos grasos volátiles por cromatografía de gases y el ácido láctico (Erwin et al., 1961).
- ✓ En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro se determinó el contenido de amoníaco por destilación (AOAC, 2002), y la digestibilidad verdadera *in vitro* de materia seca (DVIVMS) y de materia orgánica (DVIVMO) (ANKOM, 2005), para este procedimiento se pesaron las bolsas y se agregó aproximadamente 0.5 g de muestra, se colocaron las bolsas en las jarras de fermentación y se adiciono las soluciones buffer, se colocaron en al incubador Daisy, se encendió la temperatura y la agitación, se adiciono el líquido ruminal de ovino, se purgo cada jarra con CO<sub>2</sub> durante 30 minutos y se dejó incubar por 48 horas. Posteriormente se enjuagaron las bolsas en el analizador de fibra ANKOM en 3 ocasiones por 10 minutos, finalmente se realizó el procedimiento de determinación de FDN en el aparato ANKOM (Anexo 1).

• **Análisis estadístico:** los resultados de las variables evaluadas entre los tratamientos se analizaron empleando un diseño completamente al azar, mediante el análisis de ANOVA aplicando el paquete estadístico (SAS, 2008). La comparación entre medias se realizó por la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Steel y Torrie, 1988).

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Características sensoriales de los ensilados**

En la evaluación sensorial realizada a la apertura de los ensilados bajo experimentación (Cuadro 6), se observó en todos ellos un color amarillo-verdoso (Figura 17), en algunos un poco más pálido que otros; el olor fue variado: agradable, dulce, ácido, fermentado, y en algunos ensilados con trazas de alcohol; en todos los ensilados se encontró que la textura era firme y compacta, y por ultimo no hubo presencia de hongos en ninguno de los ensilados del experimento.

**Cuadro 6.** Características sensoriales de los ensilados de maíz evaluados

	<b>Control</b>	<b>Inóculo comercial 1</b>	<b>Inóculo comercial 2</b>	<b>Bal uno</b>	<b>Bal dos</b>
Color	Amarillo-verdoso				
Olor	Fermentado (alcohol)	Dulce	Ácido	Dulce (alcohol)	Dulce
Textura	Firme compacto				
Hongos	No hubo presencia				



**Figura 17.** Ensilado de maíz a la apertura.

### **5.2. Características químicas y biológicas**

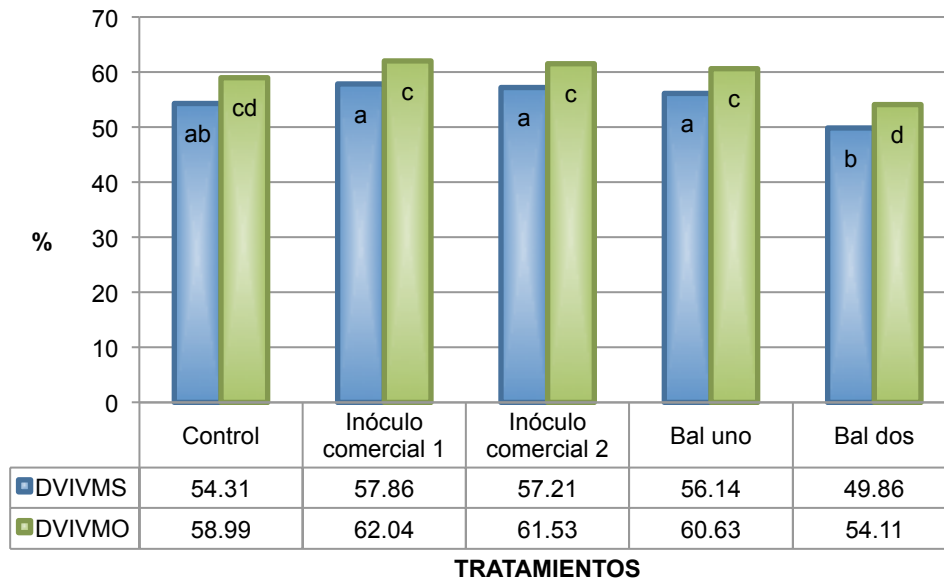
El análisis químico realizado a los ensilados evaluados indicó que estadísticamente no existió diferencia en las variables de pH, PC, EE, FC, ELN, cenizas, FDN y FDA ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 7). En cuanto a la digestibilidad verdadera *in vitro* de materia seca (DVIVMS) y materia orgánica

(DVIVMO) no existió diferencia entre los tratamientos con inóculos comerciales 1 y 2 y el experimental Bal uno; existiendo diferencia entre los tratamientos experimentales Bal uno y dos ( $P>0.05$ ) (Figura 18).

**Cuadro 7.** Características químicas de los ensilados de maíz evaluados

	Control	Inóculo comercial 1	Inóculo comercial 2	Bal uno	Bal dos	EEM	P
<b>MS</b>	33.54	31.81	30.85	31.00	30.55		
<b>pH</b>	4.08	3.78	4.10	3.90	3.86	0.06	0.405
<b>PC (%Nx6.25)</b>	7.37	7.14	7.12	6.83	6.92	0.07	0.186
<b>Extracto etéreo</b>	2.13	2.50	2.31	2.13	2.00	0.06	0.121
<b>Fibra cruda</b>	23.47	21.33	24.00	25.82	25.26	0.45	0.050
<b>ELN</b>	59.12	62.27	59.56	57.86	57.99	0.49	0.072
<b>Cenizas</b>	7.91	6.76	7.02	7.37	7.85	0.14	0.065
<b>FDN</b>	49.46	50.85	52.75	57.38	54.24	0.88	0.092
<b>FDA</b>	27.56	29.21	30.21	31.61	32.27	0.49	0.056

MS = Materia seca, PC = Proteína cruda, ELN = Extracto libre de nitrógeno, FDN = Fibra detergente neutra, FDA = Fibra detergente ácida, EEM= error estándar de la media, P= probabilidad

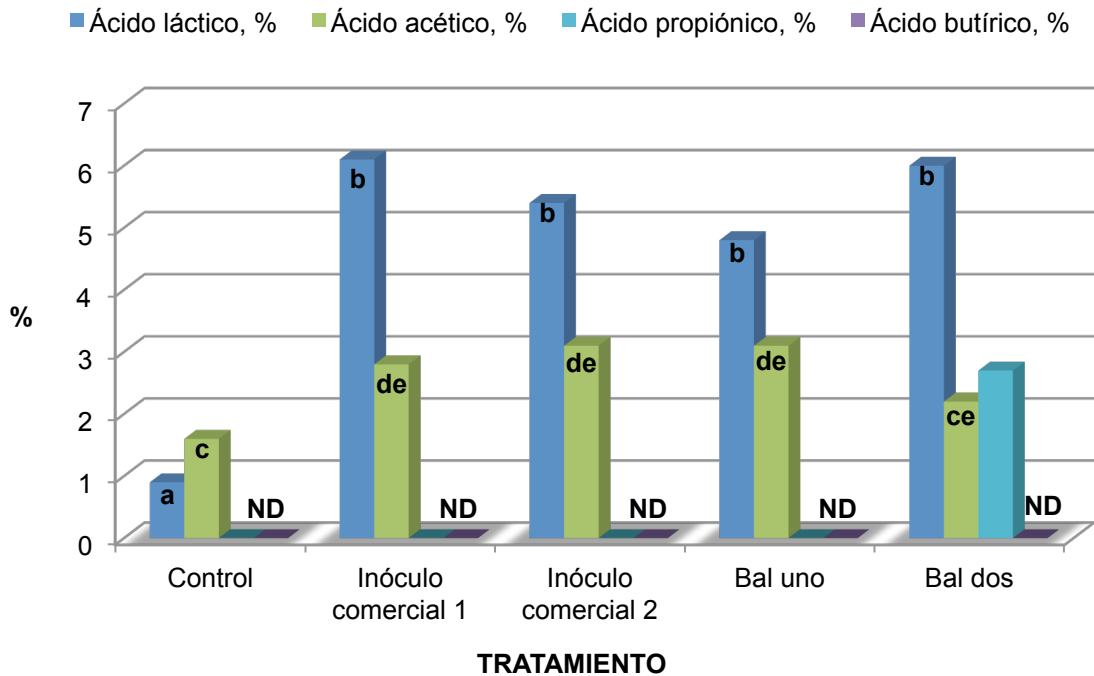


<sup>a,b</sup> Medias de DVIVMS con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ); <sup>c,d</sup> Medias de DVIVMO con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

**Figura 18.** Digestibilidad verdadera *in vitro* de materia seca (DVIVMS) y de materia orgánica (DVIVMO) de los ensilados de maíz evaluados

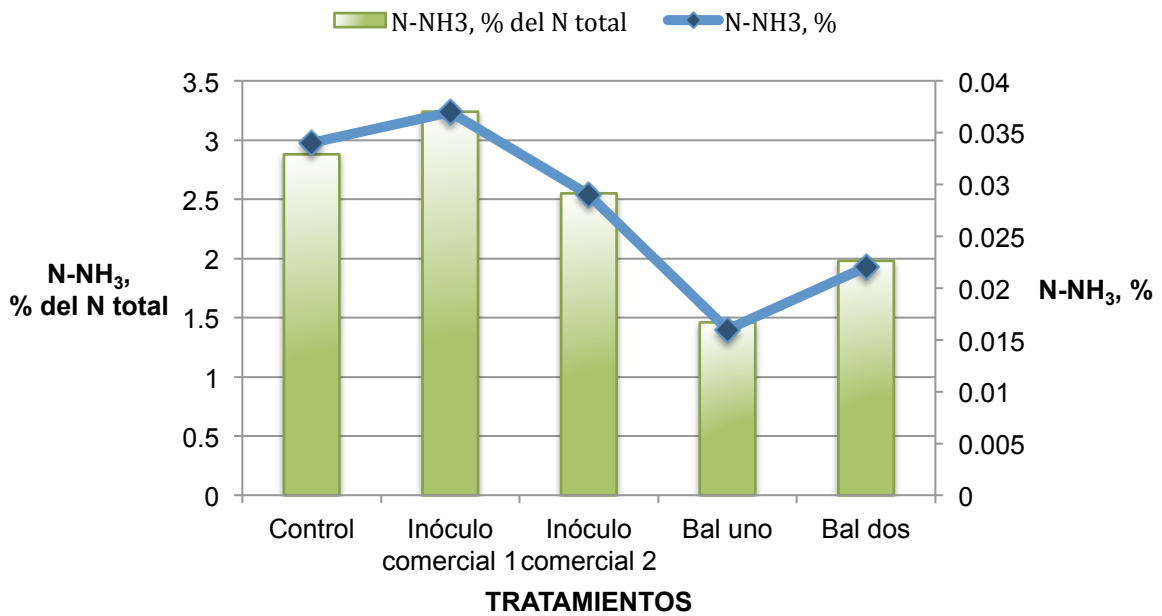
### 5.3. Productos de la fermentación

La producción de los AGV's se muestra en el Figura 19, donde se observa que la concentración de ácido láctico del tratamiento control fue menor y diferente ( $P < 0.05$ ) de los demás tratamientos inoculados. Para el ácido acético, el control mostró las concentraciones más bajas ( $P < 0.5$ ) con respecto a los inóculos comerciales y Bal uno. En cuanto a la producción de ácido propiónico, solamente el tratamiento Bal dos lo produjo a una concentración de 2.7%. En todos los tratamientos no se detectó la presencia de ácido butírico. En la Figura 20 se muestran las concentraciones de nitrógeno amoniacal, todos los tratamientos estuvieron por debajo de 0.04%, no existió diferencia significativa entre ellos. La concentración de  $N-NH^3$  como porcentaje del nitrógeno total no mostro diferencias significativas, mostrando valores de 2.88, 3.24, 2.55, 1.46 y 1.98 % para el control, inóculo comercial 1, inóculo comercial 2, bal uno y bal dos, respectivamente.



<sup>a,b</sup> Medias de ácido láctico con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ); <sup>c,d,e</sup> Medias de ácido acético con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ); ND = No Detectado.

**Figura 19.** Ácido láctico y AGV's (% en base a MS) presentes en los ensilados de maíz evaluados.



**Figura 20.** N-NH<sub>3</sub>, % y N-NH<sub>3</sub>, % del N total (en base a MS) presente en los ensilados de maíz evaluados.

## **VI. DISCUSIÓN**

De acuerdo a Hiriart (2008), las características sensoriales que presentaron los tratamientos están dentro de los parámetros deseados para un buen ensilado con fermentación láctica. Bajo las condiciones de este experimento los ensilados presentaron características sensoriales muy similares, por lo que la adición de los inóculos no parece influir en estas características, estos resultados eran esperados, ya que el proceso de ensilaje es solo una forma de conservación del material verde utilizado, ni el proceso de ensilaje ni la adición de un inoculante mejoran las características nutricionales de la planta utilizada. Quigley et al. (2000) también observaron que a la apertura de los silos no indicó un efecto aparente de los tratamientos inoculados contra el control. Al igual que en este trabajo, en un estudio sobre el valor nutritivo del ensilaje de maíz con inoculación de bacterias ácido lácticas realizado en Brasil ninguno de los ensilados presentaban mohos, áreas podridas ni olores indeseables (Rodrigues et al., 2004). Es importante comentar que en un experimento sobre los efectos de la alimentación con ensilaje de maíz inoculado, se observó que las levaduras y los mohos utilizan el ácido láctico producido por las bacterias ácido lácticas durante la exposición aerobia del ensilado para su crecimiento (Basso et al., 2014). Por lo cual, es recomendable tomar en cuenta que los inoculantes comerciales solo de bacterias homofermentativas producen grandes cantidades de ácido láctico, sin embargo, aumentan el deterioro aeróbico, ya que en tal fermentación no se produce suficiente cantidad de ácido acético y ácido propiónico para proteger a los ensilados contra levaduras y hongos (Danner et al., 2003; Aksu et al., 2004; Filya et al., 2006).

La adición de inoculantes no presenta ninguna diferencia en cuanto a los parámetros nutricionales de PC, EE, FC, ELN, FDN y FDA de los ensilados en comparación del control. Estos resultados eran los esperados, ya que el proceso de ensilaje, ni la adición de un inoculante mejoran las características nutricionales de la planta utilizada. En un estudio sobre la calidad fermentativa y nutricional del ensilaje de maíz con el uso de tres inoculantes (Sill-All, Silobac y Pioneer 1174) obtuvieron resultados similares (Rodrigues et al., 2004); los mismos resultados se obtuvieron en un

estudio con la adición de inóculos elaborados a base de *Lactobacillus casei*, *Rhodopseudomonas polistris* y *Saccharomyces cerevisiae*, en una finca de Costa Rica (Cubero et al., 2010); por el contrario un estudio de ensilaje de la leguminosa *Lablab purpureus* (conocido como frijol gallinita en México) si tuvieron diferencias sustanciales entre el ensilaje inoculado (*Lactobacillus plantarum* y *Enterococcus faecium*) y el control (Quigley et al., 2000), cabe mencionar que esta leguminosa tiene características muy parecidas a la alfalfa. Galina et al. (2008) mencionan un incremento de la digestibilidad de la fibra con la adición de los inoculantes, probablemente debido al aumento del porcentaje de fibra potencialmente digestible y digestibilidad verdadera del forraje.

El pH de los tratamientos indicó una buena fermentación según lo reportado por Calsamiglia et al. (2004) e Hiriart (2008) de 3.7 a 4.45. El contenido de proteína cruda de todos los tratamientos estuvo en el rango inferior reportado de 7 a 9%, el cual depende de la variedad del maíz, zona geográfica, etc. (Calsamiglia et al., 2004; Chahine et al., 2009; Mier, 2009), el contenido de proteína cruda disminuye linealmente a medida que la madurez de la planta de maíz avanza de estado lechoso a madurez vítrea (Bal, 2006). El contenido de FDN y FDA de los tratamientos estuvo dentro del rango reportado por Chahine et al. (2009) de 35 a 55% de FDN y 20 a 33% de FDA. De Blas et al. (2010) mencionan un promedio de 46% para FDN y 26.8% para FDA; a medida que la planta madura el rendimiento de materia seca aumenta y las concentraciones de FDN y FDA aumentan (Johnson et al., 2003). Yitbarek y Tamir (2014) mencionan que los ensilados tratados con aditivos biológicos tienen mas bajos los valores de FDN y FDA en comparación con el control. En el análisis de la DVIVMS y DVIVMO, los tratamientos comerciales 1 y 2 y el experimental Bal uno (*Lactococcus lactis* y *Lactobacillus brevis*) mostraron mayores digestibilidades ( $P>0.05$ ) que Bal dos (*Lactococcus lactis* y *Lactobacillus pentosus*), con estos resultados se observa que en este experimento las enzimas incluidas en el inóculo comercial 2 no tuvieron ningún efecto sobre el perfil fermentativo ni la digestibilidad. Rahjerdi et al. (2015) mencionan que el material ensilado con una mayor concentración de ácido láctico y una menor concentración de  $N-NH_3$  generalmente tienen la mejor digestibilidad, estos resultados son contrarios a los obtenidos en este trabajo, ya que Bal dos presenta la menor digestibilidad y un alto porcentaje de ácido láctico. Salgueiro (1995) menciona que la digestibilidad permanece prácticamente constante entre el estado de grano lechoso y la



madurez, por lo cual aunque el inóculo Bal uno presenta mayor digestibilidad no es importante para tomar en cuenta en la elección de uno u otro, el perfil de AGV's y Ácido láctico es lo mas importante, la finalidad de un inóculo es proporcionar las bacterias para la producción de dichos ácidos y así asegurar una buena fermentación y conservación adecuada del material ensilado. El empleo de inóculos con bacterias lácticas en ensilados para alimentación de rumiantes ha demostrado que incrementa el numero de bacterias celulolíticas en el rumen y en algunos casos aumenta la degradación ruminal (Galina et al., 2008).

En cuanto a los productos de la fermentación, podemos observar que la adición de los inóculos eleva considerablemente la producción de ácido láctico, lo cual es benéfico para obtener un ensilaje de calidad (Danner et al., 2003; Aksu et al., 2004). Rodrigues et al. (2004) concuerdan con estos resultados, ya que mencionan que la aplicación de inoculantes en el ensilaje de maíz aumenta la producción de lactato durante el inicio de la fermentación. Contrario a este trabajo algunos autores mencionan que no detectaron efectos con la aplicación de inoculantes sobre la producción de AGV's y ácido láctico (Rodrigues et al., 2002; Cubero et al., 2010; Junges et al., 2013). Varios autores mencionan que la adición de bacterias homofermentativas al ensilado aumenta la producción de ácido láctico, pero disminuye la estabilidad aeróbica del mismo, esto se debe a que las altas concentraciones de este ácido favorecen el crecimiento de levaduras y hongos en presencia de oxígeno (Danner et al., 2003; Weinberg et al., 2004; Filya et al., 2006; Nkosi et al., 2009; Yitbarek y Tamir, 2014; Abdul et al., 2017). Las bacterias heterofermentativas incrementan la producción de ácido acético y algunas de ácido propiónico, lo cual mejora la estabilidad aeróbica del material ensilado (Danner et al., 2003; Gollop et al., 2005; Adesogan, 2006; Nkosi et al., 2009; Kristensen et al., 2010; Basso et al., 2012, 2014; Yitbarek y Tamir, 2014). La adición de inoculantes homofermentativos nos aseguran una mayor producción de ácido láctico lo que mejora la fermentación de los ensilados pero tenemos una producción muy baja de AGV's lo que nos ocasiona una baja estabilidad aeróbica al momento de abrir el ensilado. Por el contrario los inoculantes heterofermentativos aumentan la formación de ácido acético y propiónico, estos mejoran la estabilidad aeróbica del ensilado pero tenemos una baja producción de ácido láctico. Por lo cual la

mejor opción es adicionar una combinación de ambos inoculantes para asegurar una producción adecuada de AGV's y ácido láctico.

Los tratamientos con inóculo mostraron concentraciones de ácido láctico mayores a 4%, lo que asegura una fermentación adecuada y una buena conservación del material ensilado (Chahine et al., 2009). Las concentraciones típicas oscilan entre 4 y 7% para ácido láctico, 1 y 3% para ácido acético, menos de 0.1% para ácido propiónico y 0% para ácido butírico (Cherney et al., 2004). Al no detectar ácido butírico en ninguno de los ensilados concluimos que no existió la presencia de clostridios, esto puede explicarse debido a los altos contenidos de ácido láctico, ya que este produce una baja del pH menor a 4 y los clostridios necesitan un pH mayor a 5 para poder reproducirse (Yitbarek y Tamir, 2014). Los inoculantes microbianos deben estar presentes en cantidades suficientes para dominar eficazmente la fermentación, la tasa mínima recomendada es  $1 \times 10^5$  UFC/g de forraje húmedo (Yitbarek y Tamir, 2014).

Con respecto a los tratamientos experimentales Bal uno y dos, las concentraciones de ácido láctico y ácido acético que presentan, pueden explicarse debido a que tienen una bacteria homofermentativa (*Lactococcus lactis*) y una heterofermentativa (*Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus pentosus*), además se ha observado que *L. pentosus* alarga la vida del ensilado por la característica que tiene en el uso de las pentosas de la hemicelulosa cuando las fuentes de glucosa se agotan (Parvin y Nishino, 2009), por lo cual, podemos explicar la pequeña diferencia en cuanto a las digestibilidades que se presentan en este experimento. En este trabajo solo Bal dos (inóculo homo y heterofermentativo) presentó ácido propiónico, puede deberse a que fue uno de los tratamientos con mas cantidad de ácido láctico, cuando existen cantidades elevadas de este ácido es transformado en ácido propiónico, esta fermentación es efectuada por bacterias heterofermentativas (Huertas, 2010) mediante la descarboxilación del ácido succínico, un ejemplo es *Lactobacillus buchneri*, este convierte ácido láctico en acético y propiónico, los cuales protegen el ensilaje contra el deterioro por microorganismos aeróbicos (Filya et al., 2006; Basso et al., 2014). En un trabajo acerca de la adición de cepas de levaduras, mencionan que la combinación de *Saccharomyces* con *Lactobacillus spp.* mejora la estabilidad aeróbica y aumenta la digestibilidad de las fibras, lo cual podría generar un excelente inoculante (Duniere

et al., 2015), esta combinación podría ayudarnos a mejorar significativamente la calidad del ensilado. Con la adición de los inóculos experimentales se obtuvo una buena producción de ácido láctico y acético, esta combinación proporciona una buena fermentación, conservación y estabilidad aeróbica una vez abierto el ensilado. Además de que el inóculo Bal dos produjo ácido propiónico, este y el ácido láctico son gluconeogénicos, por lo cual obtenemos un ensilado que proporcionará gran cantidad de glucosa al ganado.

Chahine (2009) y Mier (2009) mencionan que el porcentaje máximo de nitrógeno amoniacal en un ensilado es de 0.9 y 0.8% respectivamente, en este trabajo todos los tratamientos evaluados mostraron niveles muy por debajo de dichos porcentajes, por lo cual no existen diferencias estadísticas entre ellos ( $P > 0.05$ ). Esto puede explicarse en relación con la ausencia de ácido butírico, ya que suponemos que no existió presencia de clostridios, por lo tanto, no hubo desaminación del material ensilado lo que explicaría los porcentajes tan bajos de nitrógeno amoniacal obtenidos en este estudio (Aksu et al., 2004; Nkosi et al., 2009). Rahjerdi et al. (2015) menciona que la concentración de N-amoniacal para su ensilaje control fue de 3.52 y el resto de los tratamientos estuvo en el rango de 4.0 a 4.25 en este experimento el porcentaje mas alto fue para el inóculo comercial 1 con 3.24 y el resto se ubico en un rango de 1.46 a 2.88.

## **VII. CONCLUSIONES**

Las características sensoriales y nutricionales no se afectaron con el uso de los diferentes inóculos.

La DVIVMS y DVIVMO se vio afectada por el tipo de inóculo disminuyéndose por la presencia de *L. pentosus* en el inóculo Bal dos.

La combinación de ambos tipos de bacterias (homofermentativas y heterofermentativas) brindan una producción adecuada de ácidos para una buena fermentación y en consecuencia asegurar una buena estabilidad aeróbica.

Bajo las condiciones de este experimento BAL dos presenta el mayor contenido de ácido láctico, un buen contenido de ácido acético, además de presentar producción de ácido propiónico.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Seria conveniente evaluar los inóculos a prueba a la misma dosificación que manejan los comerciales para analizar si existen diferencias entre tratamientos bajo las mismas condiciones.

Seria muy importante evaluar el comportamiento de los inóculos a prueba a nivel de campo, bajo condiciones normales, donde se manejan volúmenes muy superiores a los que se usaron en el experimento y los factores como clima, temperatura y humedad no pueden ser controlados; así como evaluar la estabilidad aeróbica.

Algunos factores a considerar en los ensilados (aunque no se estudiaron en este experimento) son:

- Estado de madurez: a mayor madurez se cuenta con mayor porcentaje de materia seca pero una menor disponibilidad de carbohidratos.
- Proceso de rolado: este permite fragmentar los granos, por lo que tenemos una mayor superficie de exposición de los almidones para las bacterias.
- Tipo de híbrido: se obtienen diferentes características que afectarán el crecimiento de la planta, resistencia a plagas y el proceso de fermentación.

## **VIII. LITERATURA CITADA**

- Abdul, R. N., Abd Halim, M. R., Mahawi, N., Hasnudin, H., Al-Obaidi, J. R., y Abdullah, N. (2017). Determination of the use of *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium freudenreichii* application on fermentation profile and chemical composition of corn silage. Bio Med Research International.
- Adesogan, A. T. (2006). Factors affecting corn silage quality in hot and humid climates. 17th Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, Florida, USA., 108–127.
- Agrodanca. (2012). Compactación de silo. Ubicado en: [www.youtube.com](http://www.youtube.com)
- Agronegociosintegrados. (2013). Producción y manejo del ensilaje de maíz. Ubicado en: [www.agronegociosintegrados.blogspot.mx/2013/05/](http://www.agronegociosintegrados.blogspot.mx/2013/05/)
- Agrotterra. (2012). Embolsado de granos húmedos y secos en silo bolsa. Ubicado en: [www.agrotterra.com/foro/foros/maquinaria-agricola-f13](http://www.agrotterra.com/foro/foros/maquinaria-agricola-f13)
- Aguirre, V. (2013). El silaje en la alimentación bovina de carne y leche. Ubicado en: [www.aguirrevazquez.com.ar](http://www.aguirrevazquez.com.ar)
- Aksu, T., Baytok, E., y Bolat, D. (2004). Effects of a bacterial silage inoculant on corn silage fermentation and nutrient digestibility. Small Ruminant Research, 55(1), 249–252.
- Amador, A. L., y Boschini, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. Agronomía Mesoamericana, 11(1), 171–177.
- ANKOM. (2005). *In Vitro* True Digestibility using the DAISY" Incubator. ANKOM Technology Method 3. Ubicado en: [https://ankom.com/media/documents/IVDMD\\_0805\\_D200.pdf](https://ankom.com/media/documents/IVDMD_0805_D200.pdf).
- AOAC. (2002). Official Methods of Analysis (17th ed.). Arlington, VA.: Association of Official Analytical Chemists.
- Arroyo, H. H. M., y Flórez, J. A. B. (2007). Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó, Chocó. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó, 26(2), 9–12.
- Bal, M. A. (2006). Effects of hybrid type, stage of maturity and fermentation length on whole plant corn silage quality. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 30(3), 331–336.
- Basso, F. C., Adesogan, A. T., Lara, E. C., Rabelo, C. H. S., Berchielli, T. T., Teixeira, I.,

- Siqueira, G. R. y Reis, R. A. (2014). Effects of feeding corn silage inoculated with microbial additives on the ruminal fermentation, microbial protein yield, and growth performance of lambs. *Journal of Animal Science*, 92(12), 5640–5650.
- Basso, F. C., Bernardes, T. F., Roth, A. P. D. T. P., Rabelo, C. H. S., Ruggieri, A. C., y Reis, R. A. (2012). Fermentation and aerobic stability of high-moisture corn silages inoculated with different levels of *Lactobacillus buchneri*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(11), 2369–2373.
- Bates, G. (1998). *Corn Silage*. Agricultural Extension Service, The University of Tennessee, 8.
- Becerra, J. (2004). *Guía para la asistencia técnica en la producción de forrajes de riego en el estado de Querétaro*. SAGARPA.
- Beltran, B. J. (2013). *Ensilaje de maíz para la alimentación del ganado lechero*. Ubicado en: [www.engormix.com](http://www.engormix.com)
- Bravo, Q. F. (2008). *Manejo, conservación y utilización del ensilaje de maíz forrajero (Primera)*. Estado de México: ICAMEX.
- Bruno, O., Romero, L., Díaz, M., y Gaggiotti, M. (1995). Efecto del momento de corte del maíz para ensilaje sobre la producción de leche. INTA, Reporte Técnico. Argentina. Ubicado en: <http://scholar.google.com/scholar?cluster=7221203330950111146&hl=en&inst=569367360547434339&oi=scholar>
- Calsamiglia, S., Ferret, A., y Bach, A. (2004). *Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos*. Madrid, 70.
- Chahine, M., Fife, T. E., y Shewmaker, G. E. (2009). Target values for corn silage. Presentado en Idaho Alfalfa and Forage Conference Proceedings, The University of Idaho. Burley, Idaho: The Idaho Hay and Forage Association.
- Cherney, D. J. R., Cherney, J. H., y Cox, W. J. (2004). Fermentation characteristics of corn forage ensiled in mini-silos. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4238–4246.
- Cobos, M. (2013). *Técnicas de Ensilaje y Construcción de Silos Forrajeros*. México: SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.
- Contreras-Gevea, F., y Muck, R. (2009). *Inoculantes Microbiales para ensilaje. Su uso en condiciones de clima cálido*. Servicio de Extensión Cooperativa. Facultad de Ciencias Agrícolas, Ambientales y del Consumidor. Circular, 642, 1–8.

- Cubero, J., Rojas, A., y WingChing, R. (2010). Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*, 34(2), 237–250.
- Danner, H., Holzer, M., Mayrhuber, E., y Braun, R. (2003). Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(1), 562–567.
- de Blas, C., Mateos, G. G., y García-Rebollar, P. (2010). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. (3ª edición). Madrid, España.: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Deras, H. (2014). Guía técnica El cultivo del maíz. Ubicado en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz>
- Dunier, L., Jin, L., Smiley, B., Qi, M., Rutherford, W., Wang, Y., y McAllister, T. (2015). Impact of adding strains on fermentation, aerobic stability, nutritive value, and select lactobacilli populations in corn silage. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2322–2335.
- Erwin, M. A., Marco, G. J., y Emery, E. M. (1961). Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by chromatography. *Journal of Dairy Science*, 44(9), 1768–1771.
- Espinoza, S. G. R. (2014). Proceso de ensilaje de forrajes. Ubicado en: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)
- Filya, I., Sucu, E., y Karabulut, A. (2004). The effect of *Propionibacterium acidipropionici*, with or without *Lactobacillus plantarum*, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. *Journal of Applied Microbiology*, 97(4), 818–826.
- Filya, I., Sucu, E., y Karabulut, A. (2006). The effect of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of maize silage. *Journal of Applied Microbiology*, 101(6), 1216–1223.
- Franco, Q. L. H., Calero, Q. D., y Ávila, V. (2007). Alternativas para la conservación de forrajes. Secretaría de Agricultura y Pesca. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) Palmira Valle del Cauca, 24.
- Gaëtan, R. (2002). La ferme en Photos. Ubicado en: [www.lesacacias.net](http://www.lesacacias.net)
- Galina, M. A., Ortiz-Rubio, M. A., Guerrero, M., Mondragón, D. F., Franco, N. J., y Elías,



- A. (2008). Efecto de un ensilado de maíz solo o inoculado con un probiótico láctico y adicionado con un suplemento nitrogenado de lento consumo en ovinos. *Avances en investigación Agropecuaria*, 12(2), 23–34.
- Geaagricola. (2015). Soluciones de espacio, S.L. Ubicado en: [www.geaagricola.com](http://www.geaagricola.com)
- Gollop, N., Zakin, V., y Weinberg, Z. G. (2005). Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. *Journal of Applied Microbiology*, 98(3), 662–666.
- González, A. U. (2009). *El maíz y los productos de su industrialización*. Editorial Trillas. México, 13.
- Gonzalez, D. (2015). Granja "O" cancelo una apuesta por la innovación y el capital humano. Ubicado en: [www.campogalego.com/es/leche/](http://www.campogalego.com/es/leche/)
- Gutierrez, P. M. A. (2013). Silo, método de conservación de alimentos para la ganadería. Ubicado en: <https://periodico.sena.edu.co/transfencia/noticias.php?i=982>
- Herrmann, C., Idler, C., y Heiermann, M. (2015). Improving aerobic stability and biogas production of maize silage using silage additives. *Bioresource Technology*, 197, 393–403.
- Hiriart, L.-B. M. (2008). *Ensilados Procesamiento y calidad* (2ª edición). México: Trillas.
- Huertas, R. A. P. (2010). Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 93–105.
- Ibañez, S. (2009). Silo de tambo y de bolsa. Ubicado en: [alimentaciondelganadobovino.blogspot.mx](http://alimentaciondelganadobovino.blogspot.mx)
- Inta. (2016). *Nutrición animal: control de las micotoxinas en los silos* Ubicado en: [www.infosudoeste.com.ar](http://www.infosudoeste.com.ar)
- Jess, Z. (2011). The Story of corn silage: for my nephews. Ubicado en: <https://thepleasantfarm.wordpress.com/2011/10/06>
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson, D., Mahanna, W. C., y Shinnars, K. (2003). Corn silage management II: effects of hybrid, maturity, inoculation and mechanical processing on fermentation characteristics. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 287–308.
- Junges, D., Schmidt, P., Novinski, C. O., y Daniel, J. L. P. (2013). Additive containing homo and heterolactic bacteria on the fermentation quality of maize silage. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35(4), 371–377.

- Kristensen, N. B., Sloth, K. H., Hojberg, O., Spliid, N. H., Jensen, C., y Thogersen, R. (2010). Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3764–3774.
- León, C. E. (1980). Efecto de la defoliación en maíz (*Zea mays*) para la alimentación animal. Tesis. Centro Universitario del Atlántico, Universidad de Costa Rica. Ubicado en: <http://scholar.google.com/scholar?cluster=2611447801969406976&hl=en&inst=569367360547434339&oi=scholar>
- Lozano, M. (2016). Cundinamarca. Ubicado en: [cundinamarca.evisos.com.co/silos-bolsa-plastica-id-145497](http://cundinamarca.evisos.com.co/silos-bolsa-plastica-id-145497)
- Luis, L., Esperance, M., y Ramírez, M. (1991). Utilización de aditivos en la conservación de forrajes en forma de ensilaje. I. Aditivos biológicos. *Pastos y Forrajes*, 14(3), 185–198.
- Martínez-Fernández, A., Argamentería, G. A., y Roza, B. D. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. Asturias, España: Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria.
- Menara. (2015). Menara. Ubicado en: [www.menara.com.ar](http://www.menara.com.ar)
- Mier, Q. M. (2009). Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Tesis de grado de maestría. Universidad de Córdoba. Departamento de producción animal. Córdoba, España.
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (Seventh revised Edition). Washington, DC: The National Academies Press.
- Nestor, K. J. (2010). Silage Quality: How is it defined and measured? Presentado en Corn/Cereal Silage Mini-Symposium, Visalia, California.
- Nkosi, B. D., Meeske, R., Palic, D., Langa, T., Leeuw, K. J., y Groenewald, I. B. (2009). Effects of ensiling whole crop maize with bacterial inoculants on the fermentation, aerobic stability and growth performance of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 154(3), 193–203.
- Ochoa, A. (2016). Imágenes de la planta de maíz y sus partes. Ubicado en: [www.imagui.com](http://www.imagui.com)
- Ororadio. (2017). Investigador Mexicano crea fertilizante ecológico para maíz blanco.

- Ubicado en: [www.ororadio.com.mx](http://www.ororadio.com.mx)
- Pagliariacci, R. H., Ohanian, A., Pereyra, T., y González, S. (2004). Producción y manejo de pasturas sembradas. Ubicado en: [www.veterinaria.org](http://www.veterinaria.org)
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., y Marathée, J.-P. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Food and Agriculture Org. Ubicado en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=os79dx6BcmsC&oi=fnd&pg=PA345&dq=el+maiz+en+los+tropicos:+mejoramiento+y+producci%C3%B3n&ots=OZVBWel\\_-d&sig=AO97BIUVglvW1U3KHCa70b8vC\\_M](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=os79dx6BcmsC&oi=fnd&pg=PA345&dq=el+maiz+en+los+tropicos:+mejoramiento+y+producci%C3%B3n&ots=OZVBWel_-d&sig=AO97BIUVglvW1U3KHCa70b8vC_M)
- Parsons, D. B. (2008). El Maíz Manuales para Educación Agropecuaria (3ª edición). México: Trillas.
- Parvin, S., y Nishino, N. (2009). Bacterial community associated with ensilage process of wilted guinea grass. *Journal of Applied Microbiology*, 107, 2029–2036.
- Prensa Fyo. (2015). Silobolsa: una alternativa para la conservación de forraje. Ubicado en: [www.news.agrofy.com.ar](http://www.news.agrofy.com.ar)
- Quigley, S., Moss, R. J., y Brock, I. (2000). Evaluation of Inoculated Lablab Silage for Growing Dairy Heifers. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 13, 87–90.
- Ramírez, J., Ulloa, P. R., Velázquez, M. Y., González, J. A. U., y Romero, F. A. (2011). Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente*, 2(7). Ubicado en: <http://www.academia.edu/download/34372451/negativa.pdf>
- Rodrigues, P. H. M., Andrade, S. J. T., Ruzante, J. M., Lima, F. R., y Melotti, L. (2002). Valor nutritivo da silagem de milho sob o efeito da inoculação de bactérias ácido-lácticas. *Revista brasileira de Zootecnia*, 31(6), 2380–2385.
- Rodrigues, P. H. M., Ruzante, J. M., Senatore, A. L., Lima, F. R. de, Melotti, L., y Meyer, P. M. (2004). Evaluation of microbial inoculation on nutritional and fermentative quality of corn silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(3), 538–545.
- Roth, G. W. (2005). Genetic selection for corn silage digestibility. 3ra. Mid-Atlantic Nutrition Conference, Maryland Feed Industry Council, Department of animal and avian sciences, University of Maryland, 141–146.
- Salgueiro, J. Z. (1995). El ensilado de maíz para la producción de carne. *Mundo ganadero*, 6(2), 32–34.

- Sánchez, C., y Oliviera, A. (1973). Producción de materia seca y estimación del potencial fotosintético mediante la defoliación artificial en maíz. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Reunión de maiceros de la Zona Andina, 45–55.
- SAS. (2008). Statistical Analysis System, User's guide, SAS/ETS 9.2. Cary, NC: SAS Institute, Inc. USA.
- Steel, R. G. D., y Torrie, J. H. (1988). Bioestadística: Principios y procedimientos (Segunda). México: McGraw-Hill: Interamericana de México.
- UNCOMO. (2016). Como sembrar maíz en 7 pasos. Ubicado en: <https://hogar.uncomo.com/articulo/como-sembrar-maiz-20659.html>
- USDA. (2017, septiembre). United States department of Agriculture. Grain: World Markets and Trade. Foreign agricultural service/USDA.
- Van Soest, P. J., Robertson, J., y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.
- Weinberg, Z. G., Muck, R. E., Weimer, P. J., Chen, Y., y Gamburg, M. (2004). Lactic acid bacteria used in inoculants for silage as probiotics for ruminants. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 118(1), 1–9.
- Wikipedia. (2016). Ensilado. Ubicado en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ensilados>
- Wilkinson, J. M., Bolsen, K. K., y Lin, C. J. (2003). History of silage. *Silage Science and Technology*, American Society of Agronomy, Madison, USA, 1–30.
- Yitbarek, M. B., y Tamir, B. (2014). Silages additives. *Journal of Applied Sciences*, 4(05), 258.

## IX. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1

#### Digestibilidad en vitro por el método propuesto por ANKOM empleando bolsas filtrantes

##### Material y equipo

- ANKOM Technology – Daisy Incubador
- Bolsas filtrantes
- Probetas graduadas 1 L o 500 ml
- Termos
- ANKOM analizador de fibra
- Marcador resistente a acetona
- Inóculo de líquido ruminal

##### Reactivos

- |   |         |
|---|---------|
| • Solución buffer A   | g/litro |
| Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )   | 10.0    |
| Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )   | 0.5     |
| Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ )  | 0.5     |
| Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ )   | 0.1     |
| Urea  | 0.5     |
| • Solución buffer B   | g/litro |
| Carbonato disódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )   | 15.0    |
| Sulfato disódico nonahidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )                                 | 0.4672  |
| • Solución neutro detergente (FDN)  | g/litro |
| Agua destilada  | 1.0     |
| Lauril sulfato de sodio (USP)   | 30.0    |
| Sal disódica de (EDTA)  | 18.61   |
| Tetraborato de sodio $10 \text{ H}_2\text{O}$ ( $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), R. A. | 6.81    |

Fosfato disódico hidrogenado anhidro ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), R. A.	4.56
Etilenglicol monoetil éter, grado purificado	10.0

## Procedimiento

- 1) Preparar bolsas y las muestras
- 2) Dar un pre enjuague a las bolsas en acetona por cinco minutos y dejar secar. Pesar cada bolsa ( $W_1$ ). Pesar aproximadamente 0.50 g de muestra ( $W_2$ ). Poner aproximadamente 25 bolsas por cada jarra de fermentación, incluyendo la bolsa blanco que es el factor de corrección ( $W_4$ ).
- 3) Preparar la solución buffer (por cada jarra).
- 4) Precalentar a 39° C la solución buffer A y B en contenedores separados, adicionar 266 ml de la solución B a 1330 ml de solución A (1:5). Adicionar 1600 ml de la mezcla A/B a cada jarra de fermentación con las muestras.
- 5) Poner las jarras con las muestras y la solución dentro del incubador y activar el botón de temperatura y agitación. La temperatura se equilibra aproximadamente en 30 minutos.
- 6) Preparar el inóculo.
- 7) Mantener la cristalería a 39° C.
- 8) Precalentar agua a 39° C, y ponerla en el termo. Tirar el agua antes de empezar a coleccionar el contenido ruminal. Recolectar 2000 ml de inóculo del rumen y ponerlo en el termo.
- 9) Moler en licuadora con  $\text{CO}_2$  y luego filtrar la digesta con una gasa hasta que quede muy líquido, siempre mantenido con una atmosfera de  $\text{CO}_2$ .
- 10) Medir 400 ml de inóculo filtrado y adicionar a la jarra de fermentación con la solución buffer y las muestras. Purgar con  $\text{CO}_2$  por 30 minutos.
- 11) Incubar por 48 horas para determinar la digestibilidad in vitro.
- 12) Completada la incubación, tirar el líquido y enjuagar las bolsas hasta que salga el agua limpia (4 lavadas en el analizador de fibra ANKOM<sup>200/220</sup> para bolsas de fibra sintética, y 3 lavadas para bolsas ANKOM; esto durante 10 minutos cada una).
- 13) Enjuagadas las bolsas se acomodan en el analizador de fibra ANKOM<sup>200/220</sup>.

## Cálculos

$$\%DVIVMS = 100 - (((FDNv - (W_1 \times C_1)) \times 100 / W_2)$$

Donde:

DVIVMS = Digestibilidad verdadera in vitro de materia seca

$W_1$  = peso de la bolsa tarada

$W_2$  = peso de la muestra

FDNv = Peso final de la bolsa + muestra después de la determinación de FDN

$W_4$  = peso de materia orgánica (perdida de peso de la ignición de la bolsa y la muestra).

Para determinación con bolsa de fibra sintética

$$C_1 = \frac{(FDNv + W \text{ liga}) - (W \text{ liga})}{W_1}$$

Para determinación con bolsas de ANKOM

$$C_1 = \frac{(FDNv)}{W_1}$$