

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL



BROMATOLOGÍA Y DIGESTIBILIDAD DE BAGAZO DE AGAVE (*Agave angustifolia*), PARA SU USO EN LA NUTRICIÓN ANIMAL

Por

MARLENE IVONNE ESTRADA CALVO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

Bromatología y digestibilidad de bagazo de agave (*Agave angustifolia*), para su uso en la nutrición animal

POR:

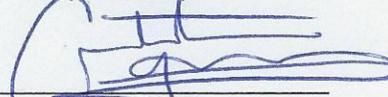
MARLENE IVONNE ESTRADA CALVO

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Antonio F. Aguilera Carbó

Asesor principal

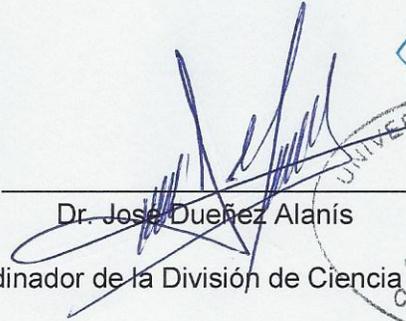


Lic. Laura Olivia Fuentes Lara

Coasesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México, Mayo 2016.

DEDICATORIA

Estar preparado es importante, saber esperarlo es aún más, pero aprovechar el momento adecuado es la clave de la vida.

Arthur Schnitzler

Dedico esta tesis a DIOS, que sin su gracia ni iluminación hubiera podido concluir satisfactoriamente, por darme serenidad y sabiduría en momentos difíciles de este camino.

A mi madre Marcela Calvo, que siempre brillo con luz propia en el cielo, me guio y nunca me abandono, dándome ánimo para seguir, que con su amor logro que yo sea la persona que soy.

A mis hermanos Jozafat Karin y Madelyn Dayanara que siempre estuvieron hoy para mí.

A mis tíos en especial a Santiago, Juan, Teresa Naranjo quienes fungieron además el papel de padres siempre estando hay para mi moral y económicamente apoyándome todo el tiempo.

A mis primos, por su cariño y palabras e apoyo.

A mi abuelita Asunción Naranjo que a lo largo de estos años de estudio siempre me alentó a seguir.

A mis amigos quienes fueron un gran apoyo emocional durante todo este tiempo.

A mi novio Edgar Dionel quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por formarme como profesionista y comprometerme con el campo mexicano, por compartirme la sabiduría que se ha formado desde hace 93 años dentro de sus aulas, por dejarme ser un buitre por siempre. Gracias Mi Alma Terra Mater.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A mis asesores Dr. Antonio Aguilera Carbó y Lic. Laura Olivia Fuentes por creer en mí, apoyarme, guiarme y aconsejarme en este proyecto que significa tanto para mí.

A los laboratoristas T.A. Carlos A. Arévalo Sanmiguel y M.C. Laura Marisela Lara López que siempre estuvieron hay cuando lo necesite.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, que aunque físicamente no pudo estar, espiritualmente lo hizo y nunca me abandono, hay estuvo detrás mío en cada logro a lo largo de mi vida y en este no fue la excepción, gracias a su educación a sus consejos que perduraron en mi mete y me alentaron a seguir para conseguir mis sueños, para cumplir mis metas y ser una mujer de bien. Este logro es para ti mamá y espero que donde estés te sientas muy orgullosa de mí y de lo que he logrado.

A mis tíos que también fungieron el papel de padres:

Santiago que desde niña me alentó e inculco el hábito del estudio, la dedicación y la responsabilidad, por sentarse a mi lado para ayudarme con mis tareas guiarme y siempre apoyarme, alentarme a seguir preparándome para ser una mujer preparada y poderme enfrentar con armas solidas a un futuro campo laboral.

Juan, por su cariño y amor incondicional que a pesar de mis error el nunca desistió de apoyarme y confiar en mí. Por su gran apoyo económico que sin él no hubiera podido lograr mis sueños profesionales. Por siempre estar al pendiente de mí.

Teresa, por ser una segunda madre para mí, escucharme aconsejarme y a veces regañarme. Por siempre sentirse orgullosa de mí por considerarme una hija y decir siempre que soy el orgullo de la familia lo cual me alentaba a no defraudarlos. Por ese cariño que significo mucho para mí.

A mi hermano Jozafat Karin, por siempre apoyarme tanto moral como económicamente todos esto años, por su cariño por ser un ejemplo para mí de que las cosas si las quiere uno con todo el corazón se pueden cumplir y no hay obstáculo grande que lo impida.

A mi abuelita que desde que mi mama no está con migo, ella se encargó de mí, por su apoyo y consejos por siempre alentarme a seguir estudiando y echándole ganas.

A mis amigos Eliberta, Verónica, Luisa, Bulmaro, Pablo, David, Ismael, Alfonso, Alexander, Edgar, Fredy, Esteban, Jorge, Nelson, Lázaro, José, Gerónimo, Marcos; por compartir experiencias de vida inolvidables por ser una familia que siempre nos apoyamos incondicionalmente y apoyarme a lo largo de esta etapa de mi vida con sus palabras de aliento y por siempre apoyarme emocionalmente cuando lo necesite.

A mi novio Edgar Dionel Gutiérrez García que a lo largo de estos años siempre ha estado ahí para mí, que me ayudado incondicionalmente a salir de baches de los que sola no hubiera podido, por siempre tener las palabras correctas, por su confianza, paciencia, compañía y amor. Por alentarme a seguir y a culminar este trabajo, por nunca dejarme sola en momentos difíciles.

Al Dr. José Eduardo García Martínez por ayudarme en la elaboración de las fórmulas alimenticias, por el tiempo, conocimiento y paciencia brindados, ya que sin su valiosa ayuda no hubiera sido posible el término de este trabajo. Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el fin de caracterizar el bagazo de *Agave angustifolia* y su utilización en la nutrición animal, en donde se analizó la muestra en tres repeticiones, para ello se realizó un análisis bromatológico en la muestra que fue recolectada en el palenque Los Remedios ubicado en Santa María Sola de Vega Oaxaca, y las variables analizadas fueron: materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, fibra cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, lignina, celulosa y minerales presentes, posteriormente se analizaron los datos sacando medias aritméticas y comparando con resultados reportados por otras investigaciones, dándonos un porcentaje muy bajo de proteína cruda el cual por sí solo no puede cubrir los requerimientos de rumiantes establecidos por el NRC, pero una cantidad de calcio que a la perfección llena los requerimientos de rumiantes en épocas de estiaje y producción.

Otra variable que se analizó fue la digestibilidad *in vitro* del bagazo y tres fórmulas realizadas para la engorda de un bovino cebú, las cuales contenían bagazo en diferentes porcentajes: 0, 25 y 50%, los cuales se sometieron al análisis estadístico de KRUSKAL-WALLIS para comparar los tratamientos, dando como resultado que para porcentaje de digestibilidad tanto ajustada como no ajustada a MST son diferentes entre sí la fórmula 1 de la 2. Siendo mejor la fórmula 2 al presentar una digestibilidad de 70 %, por lo tanto es recomendable su uso en la nutrición animal, dando mejores resultados en combinación con otros ingredientes los cuales complementa su riqueza nutricional, además que se podrá solucionar el problema que representa en los estados productores de mezcal el destino del bagazo, y se podrá utilizar de una manera más productiva.

Palabras clave: Composición química, Nutrición animal, Época de estiaje y producción, Subproductos agrícolas para uso como forraje, Ganado cebú.

Correo electrónico: Marlene Ivonne Estrada Calvo.

marlene_ivonne_estrada_calvo@hotmail.com

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Justificación	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo general.....	14
1.3 Hipótesis.....	14
2. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1 Clasificación y taxonomía de la planta.....	15
2.1.1 Producción del género <i>Agave</i> en México en el año 2014.....	16
2.2 <i>Agave Angustifolia</i> (Maguey Espadín)	17
2.3 Mezcal	18
2.3.1. Denominación de origen.....	19
2.4 Proceso de elaboración de mezcal (<i>Granados, 1993</i>).....	20
2.5 Bagazo.....	21
2.6 Producción de bagazo	22
2.7 Usos del bagazo	23
2.8 Composición del bagazo	24
2.9 Contenido nutrimental del bagazo de otras especies de agave usados como alternativa de alimento para rumiantes.....	25
2.10 Minerales en la nutrición animal.....	28
2.10.1 Clasificación	29
2.11 Digestibilidad	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1 Ubicación del área de estudio	33
3.2. Recolección y manejo de muestra.....	33
3.3. Análisis de muestra	34
3.3.1 Materia seca parcial	34
3.3.2 Materia seca total.....	35

3.3.3 Cenizas.....	37
3.3.4 Proteína cruda o bruta	38
3.3.5 Extracto etéreo.....	40
3.3.6 Fibra cruda.....	41
3.3.7 Extracto libre de nitrógeno	43
3.3.8 Fibra detergente neutra o pared celular (VN SOEST, 1967).....	43
3.3.9 Fibra detergente ácida	46
3.3.10 Lignina y celulosa por el método de permanganato	48
3.3.11 Minerales.....	51
3.3.12 Digestibilidad <i>in vitro</i> usando el incubador “DAISY”	52
3.3.13 Formulación para la determinación de la digestibilidad	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1 Análisis bromatológico	59
4.2 Minerales.....	61
4.3 Digestibilidad <i>in vitro</i>	63
4.3.1 Resultados del análisis de KRUSKAL-WALLIS para comparar los tratamientos	63
5. CONCLUSIONES	67
6. LITERATURA CITADA.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación científica del <i>agave angustifolia</i>	16
Cuadro 2.2 Producción nivel nacional, modalidad de riego y temporal.....	16
Cuadro 2.3 Producción en el Estado de Jalisco, modalidad riego y temporal.....	16
Cuadro 2.4 Producción en el Estado de Oaxaca, modalidad de riego y temporal....	17
Cuadro 2.5 Producción en el Estado de Oaxaca, municipio de Villa Sola de Vega, modalidad de riego y temporal.....	17
Cuadro 2.6 Principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica del <i>agave spp</i>	23
Cuadro 2.7 Algunas propiedades fisicoquímicas del bagazo de maguey mezcalero (<i>A. angustifolia</i>) y sus compost (<i>Gutiérrez et al, 2013</i>).....	25
Cuadro 2.8 Perfil bromatológico de <i>Agave salmiana</i> y <i>Agave webery cela</i> (<i>Ruíz et al, 2015</i>).....	26
Cuadro 2.9 Composición mineral en subproductos de <i>agave salmiana</i> y <i>agave webery cela</i> (<i>Ruíz et al, 2015</i>).....	27
Cuadro 2.10 Composición del bagazo de agave tequilero.....	28
Cuadro 2.11 % de digestibilidad de los diferentes tratamientos evaluados en diferentes tiempos de fermentación.....	32
Cuadro 3.1 Requerimientos nutricionales del novillo.....	57
Cuadro 3.2 Contenidos nutricionales.....	57
Cuadro 3.3 Fórmula 1.....	58
Cuadro 3.4 Fórmula 2.....	58
Cuadro 3.5 Fórmula 3.....	58
Cuadro 4.1 Resultados de materia seca parcial y humedad contenidos en el bagazo de <i>agave angustifolia</i>	59
Cuadro 4.2 Resultados de análisis bromatológico al bagazo de agave mezcalero espadín (<i>agave angustifolia</i>).....	59

Cuadro 4.3 Resultado de minerales presentes en el bagazo de agave mezcalero espadín (<i>agave angustifolia</i>).....	61
Cuadro 4.4 % de digestibilidad de los tratamientos y su ajuste a MST.....	63
Cuadro 4.5 Resultados estadísticos de los tratamientos sin ajuste a MST.....	64
Cuadro 4.6 Resultados estadísticos de los tratamientos ajustados a MST.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 <i>Agave angustifolia</i>	18
Figura 2.2 Denominación de origen del mezcal.....	19
Figura 2.3 Bagazo de agave.....	21

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

La industria mezcalera del país produce toneladas anuales de bagazo en los estados donde se encuentra la denominación de origen de esta bebida alcohólica, producto que no se le ha encontrado uso alguno, siendo vertido en ríos, arroyos, terrenos de cultivo y utilizado como combustible en hornos de leña especialmente en el estado de Oaxaca. A pesar de la gran cantidad de bagazo producido por año, actualmente no se tienen muchos estudios concretos sobre la utilización de este material en la nutrición animal.

Sin embargo, por su disponibilidad anual y abundancia, tiene amplias probabilidades de ser utilizado.

El presente trabajo nos dará una pauta para conocer las propiedades del bagazo y su posible viabilidad para ser empleado en la alimentación animal. A demás de que expondrá posibilidades para que este residuo que se produce con abundancia en vez de ser un problema ambiental sea una fuente de ingresos extras para el productor de mezcal o bien el mismo lo utilice para la alimentación de su ganado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar las características y propiedades del bagazo de agave (*Agave angustifolia*), residuo de la industria del mezcal para su posible utilización en la nutrición animal.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar el análisis bromatológico para la caracterización del bagazo de agave (*Agave angustifolia*).
2. Determinar los minerales presentes en el bagazo de agave (*Agave angustifolia*).
3. Analizar digestibilidad *in vitro* de la muestra en tres formulaciones.

1.3 Hipótesis

El bagazo de agave (*Agave angustifolia*) puede ser un ingrediente para la formulación de una ración para nutrición animal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Clasificación y taxonomía de la planta

Las especies del genero *agave* L. son llamadas “Maguey” en México (**Gómez-Pompa, 1985**)

Taxonómicamente el género *agave* (del griego “admirable”) se ubica en la familia *agavaceae*. En el continente americano se reportan aproximadamente 310 especies, de las cuales en México existen 272, por ello se considera a este país como centro de origen del género (**Granados, 1993**).

En el estado de Oaxaca se encuentran 58 especies que equivalen a 25% de la población existente en México y de esas 13 especies son endémicas (19% presentes en el estado) (**García et al., 2004**).

En cuanto a sus características botánicas, relacionadas con la morfología. Describe que son plantas perennes, rizomatosas, de tallos acaules, hojas grandes dispuestas en roseta y suculentas fibrosas que terminan en una espina; los márgenes de las hojas presentan pequeñas espinas ganchudas o rectas, inflorescencia con espiga o panoja con escapo largo semileñoso; las flores son de color amarillo verdoso; fruto capsular leñoso alargado, dehiscente con tres alas con numerosas semillas aplanadas algo triangulares de testa negra. Las agaváceas cuentan con 30 cromosomas (**Gonzatti 1947, Gómez-Pompa 1963, Gentry 1978 y 1982**).

Cuadro 2.1 Clasificación científica del *agave angustifolia*

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Asparagales
Familia: Agavaceae
Género: <i>Agave</i>
Especie: <i>Agave angustifolia</i>

2.1.1 Producción del género *Agave* en México en el año 2014

Cuadro 2.2 Producción nivel nacional, modalidad de riego y temporal

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton /Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (miles de pesos)
<i>Agave</i>	120,339.51	27,689.34	2,408,884.28	87.00	4,208.27	10,137,225.38

Fuente. SIAP 2014

Cuadro 2.3 Producción en el Estado de Jalisco, modalidad riego y temporal

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton /Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (miles de pesos)
<i>Agave</i>	76,181.78	18,775.85	1,779,310.74	94.77	4,881.32	8,685,385.99

Fuente. SIAP 2014

Cuadro 2.4 Producción en el Estado de Oaxaca, modalidad de riego y temporal

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton /Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de pesos)
Agave	8,587.39	2,138.59	134,869.61	63.06	1,900.85	256,366.81

Fuente. SIAP 2014

Cuadro 2.5 Producción en el Estado de Oaxaca, municipio de Villa Sola de Vega, modalidad de riego y temporal

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton /Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de pesos)
Agave	210.50	50.50	3,065.75	60.71	1,900.87	5,827.59

Fuente. SIAP 2014

2.2 *Agave Angustifolia* (Maguey Espadín)

El *agave angustifolia* es la especie más utilizada como productora de mezcal en el estado de Oaxaca, su cultivo es sistemático y amplio en la región, también crece en forma silvestre en muchas partes (**Granados, 1993**).

Espinosa et al., 2002 menciona que el *Agave angustifolia* destaca entre las especies de agaves para la fabricación del mezcal por su precocidad, rendimiento y facilidad para la producción de plantan.

Las hojas de este agave se caracterizan por su forma de espada, color verde pálido, su tiempo de maduración aproximado es de 5 a 7 años y se cultiva en terrenos con buen drenaje, semi áridos, lomas, donde otras plantas les es muy difícil desarrollarse, estas características le ayudan a la planta a almacenar nutrientes, los

cuales vamos a necesitar para elaborar un mezcal de alta calidad, con tonos cítricos dulces, terrosos, ahumados por la forma de cocer la planta, es uno de los agaves de mayor tamaño (60 a 80 kilos promedio) y con un alto contenido de azúcares, lo cual contribuye a un alto rendimiento en litros (**Las Garrafas, mezcal de Oaxaca, 2012**).



Figura 2.1 *Agave angustifolia*

2.3 Mezcal

Es una bebida con historia y miles de años de tradición pues data desde la civilización de Mesoamérica donde la conocieron con el nombre de *metzcalli*.

Según la **NOM-070-SCFI-1994** es una bebida alcohólica regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves, previamente cocidas y sometidas a fermentación alcohólica.

El mezcal es un líquido de olor y sabor *suigeneris* de acuerdo a su tipo. Es incoloro o ligeramente amarillento cuando es reposado o añejado en recipientes de madera de roble blanco o encino, o cuando se aboque sin reposarlo o añejarlo.

El tequila es la bebida más importante en cuanto al valor económico, seguido por el mezcal y el bacanora. En 2012, el Consejo Regular de Tequila (CRT) reporto ventas

por 166.7 millones de litros expresados a 40% de alcohol y de acuerdo con el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM) en 2009, se produjeron 1.8 millones de litros de mezcal expresados a 45% de alcohol (**Mariles 2014**).

2.3.1. Denominación de origen

En 1995 el mezcal obtuvo la “Denominación de Origen”, registrada ante la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) con sede en Ginebra, Suiza (**CRM, 2014**).

En la actualidad, bajo el estricto cumplimiento de Norma Oficial Mexicana NOM-070 han quedado registrados en el Diario Oficial de la federación (DOF) como territorios protegidos y productores exclusivos de mezcal los estados de Guerrero, Oaxaca, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato (un municipio), Tamaulipas (once municipios), Michoacán (29 municipios) (**Mariles 2014**).

Figura 2.2 Denominación de origen del mezcal



Fuente. Consejo Regulador del Mezcal 2015.

2.4 Proceso de elaboración de mezcal (*Granados, 1993*)

El proceso utilizado en algunos poblados del estado de Oaxaca, para la obtención de mezcal es el siguiente:

1. Selección de las mejores plantas:

Al alcanzar la madures fisiológica (entre 7 y 10 años), se seleccionan las plantas sanas y de buen tamaño, después se procede al corte de las pencas y extracción de la piña (jima).

2. Picado:

Las piñas se pican en trozos pequeños para favorecer tanto el horneado como la molienda.

3. Horneado:

El cocido del maguey se realiza en un horno de piedra pequeño construido bajo la tierra y precalentado con suficiente leña. De esta manera el maguey debe permanecer ahí tres días, tapado totalmente con la misma tierra de las excavaciones.

4. Machacado:

Este se efectúa con la ayuda de mazos de madera y canoas (elaborados por los mismos productores). Donde las piñas una vez cocidas se someten a trituración, de aquí se separa el bagazo de las mieles o jugo del maguey.

5. Fermentación o reposo:

Todo el producto anterior es vertido en tinas de madera de ahuehuete (*taxodium huegelii*), aquí debe reposar en agua fría, tapado con el mismo bagazo por un lapso de 15 a 30 días, dependiendo la temperatura del ambiente. Durante este tiempo se remueve con un trinche de madera para favorecer la fermentación.

6. Destilación:

Los jugos o mieles una vez fermentados, se destilan para obtener el mezcal. Se lleva a cabo en un dispositivo montado con los siguientes aditivos.

Alambique. Olla de barro calentada con leña.

Turbante. Tapadera de olla del mismo material.

Serpentín: tubo de carrizo sumergido en agua, con funciones condensadoras.

Cántaro: recipiente receptor del mezcal destilado.

2.5 Bagazo

Este desecho es la fibra residual que queda después de cocinar, moler y extraer el jugo fermentable de la piña del *agave angustifolia* (**González et al, 2005**).

Ruíz et al, 2015 nos dice que el bagazo de agave es la fibra residual que queda después de que las cabezas de agave se han cocido y son trituradas, molidas y el agua dulce es extraída, se ha producido en gran medida por las industrias de alcohol de bebidas mexicanas, específicamente para la producción de tequila y mezcal.



Figura 2.3 Bagazo de agave

2.6 Producción de bagazo

En los Valles Centrales y Sierra Sur del estado de Oaxaca, México, se encuentra la principal región del mezcal, donde se cultivan aproximadamente 15 503 ha con *Agave spp.* principalmente *A. angustifolia Haw.*, cuya producción de 130 240 t de materia prima sirven para la elaboración de 2.9 millones de litros de mezcal **(Chagoya-Méndez 2004)**.

Durante el proceso de extracción del mezcal, al final de la etapa de fermentación y destilación del tallo o “piña”, se elimina el bagazo de maguey, el cual dependiendo del proceso artesanal de molienda se estima entre el 14 y 20 % del peso total de la “piña” **(Martínez et al. 2012)**, mientras que en Jalisco, México, las piñas del maguey tequilero (*A. tequilana Weber*) son procesadas industrialmente y el peso del bagazo es en promedio el 40 % del peso húmedo **(Cedeño 1995)**.

La industria mezcalera de Oaxaca produce anualmente 122 696 t de bagazo o desecho, producto subutilizado que es vertido en ríos, arroyos o utilizado mínimamente como combustible en hornos ladrilleros, ocasionando un grave problema al ambiente. En Oaxaca, son escasos los estudios para la utilización de los subproductos de la industria mezcalera: bagazo de mezcal y vinazas. **Martínez et al. (2012)** encontraron que a excepción del pH, el bagazo de maguey mezcalero tiene buenas propiedades físicas y químicas, ubicados en los niveles de referencia para sustratos de cultivo sin suelo indicados por **Abad et al. (2004)**. La mezcla de 25 % (v/v) de bagazo de maguey más 75 % (v/v) de vermiculita puede ser utilizado como sustrato en cultivo sin suelo de melón **(Martínez et al. 2012)**.

En Jalisco, México, se ha demostrado que el maguey tequilero (*A. tequilana Weber*) puede ser utilizado para elaborar papel **(Idarraga et al. 1999, Íñiguez et al. 2001b)** y mezclado con granos y cereales es utilizado para la alimentación animal **(Íñiguez et al. 2001a y b)**.

Por cada litro de tequila, se generan entre 15 a 20 kg de bagazo en base húmeda (*Iliangovan y col., 1996*).

2.7 Usos del bagazo

Cuadro 2.6 Principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica del *agave spp*

Usos	Producto	Parte de la planta
Alimentación	Azúcar. Guisos. Dulce. Envolver barbacoa. Mixiotes. Gusanos blancos y rojos. Pan de pulque. Tortillas.	Tallo (piña). Flores y frutos (capsulas frescas). Escapo floral (quiote). Hojas. Cutícula del cogollo. Hojas. Tallos (piñas). Perianto de flores + nixtamal.
Bebidas	Aguamiel, miel, atole de agua miel, pulque, mezcal, tequila, sotol, bacanora, vinagre, jarabe.	Tallo (piña).
Agrícola	Cerca viva. Evitar erosión como formadora de suelo. Abono orgánico (fertilizante). Planta líder de ecosistemas.	Planta completa. Planta completa. Composta de hojas. Planta completa.
Forraje	Bovinos, caprinos, porcinos.	Hojas, escapos florales, flores y parte de la inflorescencia, bagazo .
Otros usos	Industria química, farmacéutica, medicamentos y productos esteroides (saponinas). Productos de celulosa para papel, producción de etanol, celulosa y glucósidos.	Hojas, raíces, tallo y semilla. Hojas (pulpa y residuos de desfibramiento). Hojas (pulpa residuo del desfibramiento, bagazo , jugos.

Fuente: Centro de propagación de agave del estado de Guanajuato.

Se ha comprobado que la alimentación de borregos con bagazo de maguey (*Agave tequilana*), combinado con rastrojo de maíz, suplementado con rastrojo de soya y harina de pescado o harinolina (proteína cruda), permite a los animales mantener su peso durante la época de escasez de alimentos, logrando acortar el tiempo para llegar al peso de mercado, además de mantener la fertilidad de las hembras (**García et al, 2010**).

Paredes-Ibarra et al. (2007) reportó un incremento en el consumo de materia seca en corderos alimentados con una relación total mezclada que incluyó bagazo de agave. Además, **Iñiguez-Covarrubias et al. (2001)** concluyó que, el bagacillo de agave podría tener el mismo valor económico como el rastrojo de maíz, con la ventaja de que el bagacillo está disponible todo el año y el rastrojo de maíz sólo después de la cosecha de maíz.

2.8 Composición del bagazo

Uno de los principales componentes químicos que se ven implicados en el comportamiento mecánico y estructural del bagazo de agave, es el material lignocelulosico, que está constituido por un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina (**Barroso, 2010**), de acuerdo a **Balam y col. (2006)**, la fibra obtenida de diferentes tipos de agaves presenta composición química distinta.

Cuadro 2.7 Algunas propiedades fisicoquímicas del bagazo de maguey mezcalero (*A. angustifolia*) y sus compost (Gutiérrez et al, 2013)

Propiedad	Bagazo			Compost de bagazo		
	Tiempo de apilado (días)					
	0	90	180	0	90	180
Humedad (%)	80.60	68.87	43.16	66.38	58.85	59.95
Materia seca (%)	19.40	31.13	56.84	33.62	41.15	40.04
pH	5.32	7.52	7.96	7.37	7.70	7.61
Conductividad eléctrica (ds m ⁻¹)	1.37	1.90	2.24	1.77	1.79	1.64
Densidad de campo (kg m ⁻³)	106.50	80.80	79.40	166.90	242.30	278.50
Cenizas (%) ^b	10.24	7.05	14.11	30.22	38.01	40.69
Materia orgánica (%) ^b	89.76	92.95	85.89	69.77	61.99	59.31
Carbono orgánico total (COT %) ^b	49.87	51.64	42.72	38.76	34.44	32.95
Nitrógeno total (NTK%) ^b	0.38	0.56	0.44	1.81	1.21	1.52
Relación C/N	131.24	92.21	97.09	21.39	27.27	21.69
Hemicelulosa (%) ^b	28.32	8.83	6.47	9.92	5.90	6.75
Celulosa (%) ^b	41.09	44.85	47.3	41.10	38.97	30.22
Lignina detergente acido (%) ^b	10.68	13.06	10.85	9.01	6.40	10.14

^b En base seca

2.9 Contenido nutrimental del bagazo de otras especies de agave usados como alternativa de alimento para rumiantes

Ortiz Tovar et al. (2007) reportaron valores de bagazo de agave promediando 5.02, 58.72, 54.14, 19.14, 34.99 y 4.58% de PC, DNF, FDA, lignina, celulosa, y hemicelulosa, respectivamente.

El bagazo de *Agave salmiana* ha sido reportado para contener 47, 13 y 10% de celulosa, hemicelulosa y lignina (**García-Reyes y Rangel-Méndez, 2009**).

Cuadro 2.8 Perfil bromatológico de *Agave salmiana* y *Agave webery cela* (Ruíz et al, 2015)

	Agave salmiana	Agave webery cela
Materia seca (%)	28.37	25.80
Ceniza (%)	2.14	1.81
Fibra cruda (%)	22.15	16.58
Extracto etéreo (%)	0.274	0.272
Proteína cruda (%)	2.25	2.73
NFE % (celulosa y hemicelulosa).	1.56	4.41
FDN (%)	45.45	52.95
TOC (%) Carbono orgánico total.	54.37	54.55
ART (%) Azúcares reductores totales.	3.1	1.47
Ph	4.5	4.3

Resultados de proteína cruda reportados en este estudio mostraron que este nutriente no es suficiente para maximizar el metabolismo microbiano del rumen, los niveles óptimos se han estimado entre 7 y 8%. Sin embargo, la fermentación de estado sólido al agregar urea se ha propuesto para aumentar la proteína cruda a base de piensos que contienen cantidades bajas.

Cuadro 2.9 Composición mineral en subproductos de *agave salmiana* y *agave webery cela* (Ruíz et al, 2015)

Minerales	<i>Agave salmiana</i>	<i>Agave webery cela</i>
Nitrógeno total (%)	0.54	0.73
Fósforo (%)	0.03	0.02
Potasio (%)	0.43	0.08
Calcio (%)	3.46	1.95
Magnesio (%)	0.12	0.08
Azufre (%)	0.21	0.53
Hierro (ppm)	79.1	485
Zinc (ppm)	38.5	25.9
Manganeso (ppm)	8.16	7.81
Cobre (ppm)	1.89	5.17

Las evaluaciones macrominerales mostraron que, el bagazo de agave puede representar una fuente natural de calcio.

Las plantas de agave son de hoja perenne xerófitas que contienen cristales de oxalato de calcio en el mesófilo (**Blunden et al., 1973**). **Chávez-Guerrero et al. (2010)** llegó a la conclusión de que el bagazo de *Agave salmiana* es una fuente importante de compuestos de calcio después de su incineración.

Los requerimientos de calcio de los bovinos se han establecido entre 0.18 y 1.04%, mientras que los requerimientos de ovejas son entre 0.21 y 0.51% (**Maynard et al., 1981**). En las estaciones secas, los requerimientos de calcio para los rumiantes pueden ser cubiertos por el bagazo de agave. El hierro encontrado en el análisis del bagazo puede suministrar requisitos de rumiantes que han sido estimadas entre 40 y 50 ppm para las ovejas y el ganado (**NRC, 2007**).

Ruíz et al, 2015 en su trabajo “Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes” concluye que; los resultados indican propiedades nutricionales específicas del bagazo de *Agave salmiana* y *Agave webery cela*. Tanto los DNF como los macro-minerales obtenidos muestran que

estos subproductos se pueden utilizar sobre todo en épocas de sequía, donde se presenta una baja disponibilidad de piensos. También en la degradabilidad *in vitro* y la energía producida (AGV) permite pensar que estos bagazos tienen el potencial para llevar a cabo los requisitos de mantenimiento para rumiantes.

Cuadro 2.10 Composición del bagazo de agave tequilero

Análisis	Valor
Humedad (%)	71
pH	5.4
Materia orgánica (%) ^b	91.2
Cenizas (%) ^b	8.8
Carbono orgánico total (%) ^b	50.6
Nitrógeno total (%) ^b	0.53
Relación C:N	95.5
FDN (%) ^b	58.8
FDA (%) ^b	46.7
Hemicelulosa (%) ^b	12.1

^b En base seca

Se han efectuado investigaciones para evaluar la factibilidad de uso del bagazo de agave. Una de estas fue para hacer uso parcial del residuo para alimentar rumiantes. Sin embargo, aunque los animales fueron capaces de digerir parte del bagazo, se encontró que esta aplicación se veía limitada por causa de la lignina asociada a la fibra y el arreglo cristalino de la celulosa (**González et al, 2005**).

2.10 Minerales en la nutrición animal

Los minerales son nutrientes esenciales para el buen funcionamiento del organismo, es decir que no pueden ser sintetizados por éste.

Los minerales tienen como misión fundamental asegurar el crecimiento apropiado y a mantener alejadas las enfermedades. En su forma natural los minerales son

inorgánicos, pero en las plantas, se combinan con moléculas orgánicas, facilitando así su absorción.

Constituyen entre 4-5% del peso vivo de los animales, y su presencia es necesaria para la vida y salud de todas las especies. Los avances en nutrición y alimentación de animales rumiantes han permitido definir con bastante precisión los roles o funciones metabólicas de los nutrientes considerados esenciales en sus diferentes estados o condiciones productivas.

En los últimos años los minerales se han considerado nutricionalmente esenciales, a los que se les han descrito nuevas funciones metabólicas, las que principalmente están ligadas al sistema inmunitario y reproductor, lo que ha motivado un creciente interés de los nutricionistas a revalorar las funciones metabólicas de los minerales en el organismo (*Plascencia D.D., Flores M.F.P n.d*).

2.10.1 Clasificación

Macrominerales: son aquellos que se requieren en grandes cantidades (g) en la dieta, dentro de ellos se encuentran:

- Calcio (Ca)
- Fósforo (P)
- Magnesio (Mg)
- Sodio (Na)
- Cloro (Cl)
- Potasio (K)
- Azufre (S)

Se caracterizan por ser componentes estructurales de los huesos y otros tejidos y sirven como constituyentes importantes de los fluidos corporales también juegan un

papel importante en el mantenimiento del balance ácido-base, presión osmótica, potencial eléctrico de la membrana y en la transmisión nerviosa.

Microminerales: Son aquellos que se requieren en pequeñas cantidades (miligramos o microgramos), y son conocidos como minerales traza y estos son:

- Hierro (Fe)
- Zinc (Zn)
- Cobre (Cu)
- Cobalto (Co)
- Molibdeno (Mb)
- Manganeso (Mn)
- Yodo (I)
- Selenio (Se)
- Cromo (Cr)

Los minerales traza se encuentran presentes en los tejidos animales en muy bajas concentraciones, y generalmente sirven como componentes de metaloenzimas, cofactores enzimáticos, componentes de hormonas del sistema endócrino (*Plascencia D.D, .Flores M.F.P n.d*).

2.11 Digestibilidad

Porción del alimento que desaparece en el proceso de la digestión en el sistema digestivo y está relacionado con la cantidad de alimento que puede ser aprovechado por el animal y su contenido energético, uno de los principales factores que afectan la digestibilidad y el consumo voluntario es el aumento de la pared celular en el forraje, a medida que se aumenta tiende a bajar, esto puede ser debido a que los

nutrientes más digestibles son: proteínas, azúcares y lípidos , y los menos digestibles se encuentran en la pared celular son : celulosa, hemicelulosa y lignina (**Carulla et al., 2004**).

La digestibilidad de los ingredientes de la dieta, forrajes u otros componentes puede ser estimada por métodos biológicos, *in vivo*, *in situ* e *in vitro*, el primero es muy costoso y difícil en el manejo de los animales pero los demás son muy accesibles. En la digestibilidad *in situ* se simula parte de los procesos digestivos en el rumen, se requiere de menos animales, y para la digestibilidad *in vitro* es más fácil pues la mayor parte del procedimiento se realiza en el laboratorio (**Muro, 2007**).

La prueba de digestibilidad *in vitro* pretende simular la degradación de un alimento en los prestomagos de un rumiante utilizando los microorganismos del rumen y simulando las condiciones anaeróbicas, temperatura, pH, ausencia de luz del sistema rumen-abomaso. La prueba *in vitro* comprende la incubación de la muestra con los microorganismos del rumen en un medio nutritivo mineral y un amortiguador, este tratamiento equivale a la digestión ruminal. La cantidad de material orgánico degradado o disuelto esta correlacionado a los valores de digestibilidad *in vivo* por lo que los resultados pueden ser utilizados como índices en pruebas comparativas (**Medina, 1995**).

De acuerdo con los análisis reportados por **Alonso y Rigal (1997)**, el bagazo de agave tiene un alto contenido de lignina, lo cual hace que su digestibilidad sea baja (**Grabber, 2005**). Por esta razón, se debe investigar la forma de disminuir la lignina en el bagazo y así aumentar su digestibilidad para que pueda ser aprovechado como fibra en las raciones alimenticias para los animales rumiantes.

Cortina R.R.C. et al, 2012 reporta una digestibilidad del *agave tequilana* de 36 (% MS), pero para aumentar su digestibilidad se usó un tratamiento con hidróxido de calcio. El tratamiento químico se realizó en un reactor de vidrio (50 L) con las siguientes condiciones: concentraciones de Ca (OH)₂ de 2, 5 y 10 %, humedad del bagazo de 20 y 80 %, temperaturas de 30 y 50 °C. Las pruebas de digestibilidad se

realizaron en el bagazo tratado químicamente. La digestibilidad aumentó de 36 % (bagazo no tratado) a 54.5 % con el mejor tratamiento (humedad 80 %, Ca (OH)₂ 10 %, y 50 °C).

Con base en los resultados de digestibilidad, se puede concluir que el bagazo tratado con Ca (OH)₂ puede ser utilizado como suplemento en la composición de las raciones alimenticias de los rumiantes.

Jiménez 1981 evaluó tres tratamientos de bagazo de *agave tequilana* con ensilado de maíz en diferentes proporciones, las cuales son:

75% bagazo de *agave tequilana* – 25% ensilado de maíz

50% bagazo de *agave tequilana* – 50% ensilado de maíz

25% bagazo de *agave tequilana* – 75% ensilado de maíz

Cuadro 2.11 % de digestibilidad de los diferentes tratamientos evaluados en diferentes tiempos de fermentación

Tratamientos evaluados	Tiempo(hr)				
	24	48	72	96	
25% ensilado y 75% bagazo	29.9	34.3	41.2	45.3	%
50% ensilado y 50% bagazo	32.4	42.3	46.9	50.1	
75% ensilado y 25% bagazo	32.2	40.0	43.8	47.8	

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

El análisis bromatológico y de digestibilidad *in vitro* se llevó a cabo en laboratorios pertenecientes al Departamento de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, México.

3.2. Recolección y manejo de muestra

El residuo de maguey fue obtenido del palenque Los Remedios, ubicado en la localidad de Santa María, Sola de Vega, Oaxaca, ubicada en las coordenadas al norte 18°39', al sur 15°39' de latitud norte; al este 93°52', al oeste 98°32' de longitud oeste; propiedad de la señora Jaqueline Ruíz Reyes, el cual fue el residuo procedente de la elaboración de mezcal en el mes de diciembre del 2014.

El bagazo se secó a la intemperie (luz solar) durante un periodo de 4 a 5 días para eliminar humedad. Posteriormente ya en el laboratorio se sometió a una temperatura de 70°C para eliminar más humedad. De forma subsecuente se disminuyó el tamaño de partícula del bagazo en una licuadora y solo unos gramos de muestra manualmente en un mortero de porcelana esto para no alterar las lecturas de minerales.

La muestra se analizó teniendo tres repeticiones.

3.3. Análisis de muestra

Las determinaciones se hicieron de acuerdo al manual de técnicas utilizadas por **A.O.A.C. 1980** (Association of Official Analytical Chemist Official Methods of Analytical Chemist) Washington, D.C., que son las técnicas utilizadas como estándar a nivel internacional.

Las cuáles serán descritas detalladamente a continuación.

3.3.1 Materia seca parcial

Es el método más utilizado para determinar materia seca parcial de la eliminación de agua libre por medio del calor de circulación seguida por la determinación del peso del residuo, esta técnica se basa en someter a los insumos o alimentos a temperaturas entre 69-65° C la temperatura se regula para efectuar un secado máximo y para evitar un mínimo de pérdidas de sustancias volátiles y otras que se descomponen.

3.3.1.1 Material y equipo

- a) Estufa marca Robertshaw con circulación de aire caliente.
- b) Charolas o bolsas de papel grueso perforadas.
- c) Balanza Explorer ohaus.
- d) Tijeras.

3.3.1.2 Procedimiento

- A. Horno a 60-65°C.
- B. Sé perforaron las bolsas de papel.
- C. Sé pesaron las bolsas de papel y se perforaron.
- D. Sé cortó la muestra en pedazos de 1.5 cm aproximadamente, excepto la raíz, coloque la muestra dentro de la bolsa y pese.
- E. Sé colocaron las bolsas de la muestra en la estufa durante 12-14 horas.
- F. Sé sacaron las muestras de la estufa y se enfriaron a temperatura ambiente.
- G. Sé pesaron las bolsas con la muestra.

3.3.1.3 Cálculos

$$\%MSP = \frac{\textit{Peso de la muestra seca}}{\textit{Peso de la muestra total}} \times 100$$

3.3.2 Materia seca total

La materia seca, no es más que la muestra a la que se le ha extraído el agua por acción del calor. Está constituida por una porción susceptible de quemarse ya que está constituida por sustancias que contienen carbono o materia orgánica y que constituye a dar energía al alimento, la otra porción incombustible se encuentra formada por sustancias que no pueden quemarse y que los residuos que forman son cenizas cuando se someten a calcinación.

La materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura que varía entre 100-105° C este método determina el agua contenida en los alimentos.

3.3.2.1 Equipo

- a) Estufa marca Thelco GCA/PRECISION SCIENTIFIC con circulación de aire de temperatura de 80-200°C.
- b) Crisoles de porcelana.
- c) Pinzas para crisol.
- d) Espátula de acero inoxidable Pastor alemán stainless Steel- INOX.
- e) Desecador.
- f) Balanza analítica Explorer ohaus.
- g) Molino Wiley con criba de mm o licuadora depende el tipo de muestra.

3.3.2.2 Procedimiento

- A. La muestra completamente seca se muele, la muestra molida se coloca en un frasco limpio y seco e identificado.
- B. Colocar los crisoles en la estufa a 80-200°C durante 24 horas para que estén a peso constante.
- C. Con las pinzas sacar con cuidado los crisoles de la estufa y colocarlos en el desecador, enfriar durante 10 minutos y pesar.
- D. Pesar dos gramos de muestra y colocarlos en el crisol.
- E. Colocarlo en la estufa durante 12 horas o durante toda la noche.
- F. Sacar el crisol con las pinzas colocarlo en el desecador enfriar y pesar.

3.3.2.3 Cálculos

$$\%MST = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Muestra seca} - \text{Peso del crisol vacío}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

$$\%H = 100 - \%MST$$

3.3.3 Cenizas

El término cenizas se refiere a la que queda de la combustión total de una muestra de alimento. Las cenizas no contienen carbono y están formadas por diversas sustancias minerales. La porción incombustible (cenizas) se determinan quemando la porción combustible mediante una elevada temperatura (calcinación) que puede ser de 500-600°C.

3.3.3.1 Equipo

- a) Mufla 550-600°C Thermo Scientific, Thermolyne.
- b) Crisol de porcelana.
- c) Desecador.
- d) Pinzas.
- e) Balanza analítica Explorer ohaus.

3.3.3.2 Procedimiento

- A. Preincinerar en el mechero la muestra de materia seca contenida en el crisol hasta que la muestra se queme.
- B. Colocar en la mufla durante 2-3 horas.
- C. Sacar con las pinzas, colóquelo en el desecador, enfrié durante 15 minutos y pese.

3.3.3.3 Cálculos

$$\%C = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Cenizas} - \text{Peso del crisol (solo)}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{Materia Orgánica} = \% \text{Materia seca total} - \% \text{Cenizas}$$

Para ajustar sus datos en base a materia seca total dividir su % cenizas entre su % MST y multiplicar por 100.

3.3.4 Proteína cruda o bruta

El término o adjetivo de bruto o cruda, es para indicar que no son determinaciones de entidades químicas puras, sino que además se obtienen otros compuestos que no son estrictamente proteínas.

Se le denomina proteína cruda, porque no solo se determinan proteínas sino también compuestos nitrogenados que están integrados por cadenas de aminoácidos que son necesarios para realizar las funciones fisiológicas del animal.

El principio básico de este método se basa en la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio.

3.3.4.1 Material y equipo

- a) Matraz Kjeldahl de 800 mL.
- b) Aparato de digestión y destilación Kjeldahl.
- c) Matraz Erlenmeyer 500 mL.
- d) Bureta.
- e) Ácido sulfúrico 0.1 N.
- f) Hidróxido de sodio 45%.
- g) Ácido bórico 4%.
- h) Indicador mixto.
- i) Agua destilada.
- j) Mezcla de selenio.
- k) Perlas de vidrio.
- l) Ácido sulfúrico concentrado.

3.3.4.2 Procedimiento

- A. Pesé 1 gramo de muestra (previamente molida).
- B. Coloqué la muestra en el matraz Kjeldahl.
- C. Agregué una cucharada de muestra de selenio (catalizador).
- D. Agregué 4 perlas de vidrio.
- E. Agregué 30 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- F. Coloqué el matraz en el digestor Kjeldahl, encienda la parrilla entre 4-5, encienda el motor aspirador de gases, hasta que la muestra cambie de color café oscuro a verde claro.
- G. Enfrié el matraz, colóquelo en la llave del agua con cuidado, agréguele 300 mL de agua destilada.
- H. En el matraz Erlenmeyer agregue 50 mL de ácido bórico, añada 4 gotas de indicador mixto, coloque la manguera del destilador Kjeldahl dentro del matraz.
- I. Agité el matraz Kjeldahl para que se disuelva la muestra, abra la llave del agua coloque el matraz con cuidado, procurando no agitar el matraz , agregué lentamente por las paredes del matraz 100 mL de hidróxido de sodio al 45% añada 3 granallas de zinc, con cuidado llévelo al aparato de destilación Kjeldahl, colóquelo en la parte de arriba, encienda la parrilla, abra la llave del agua reciba hasta 250 mL retire primero el matraz Erlenmeyer de la manguera, apague la parrilla, para evitar que la muestra se succione y regrese al matraz Kjeldahl.
- J. Sé corre un blanco (sin muestra) y siga los pasos 2-9.

3.3.4.3 Cálculos

$$\begin{aligned} & \% \text{Nitrógeno} \\ & \quad (\text{ml de } H_2 SO_4 \text{ en muestra} - \text{ml de } H_2 SO_4 \text{ en blanco}) \times 0.014 \\ = & \frac{X \text{ normalidad del ácido}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\%PC = \%N \times 6.25$$

3.3.5 Extracto etéreo

Se denomina extracto etéreo o grasa bruta al conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como extractante éter etílico, éter de petróleo o hexano.

3.3.5.1 Reactivos y equipo

- a) Aparato extractor tipo Soxhlet.
- b) Dedales de asbesto.
- c) Matraces bola fondo plano y boca esmerilada.
- d) Estufa Thelco GCA/ PRECISION SCIENTIFIC.
- e) Pinzas.
- f) Balanza analítica Explorer ohaus.
- g) Desecador.
- h) Hexano o éter anhídrido.
- i) Perlas de vidrio.
- j) Papel filtro.
- k) Algodón.

3.3.5.2 Procedimiento

- A. Los matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio se colocan en la estufa 12 horas para que estén a peso constante.
- B. En un papel filtro pesé 4 g de muestra (molida) colóquela en un dedal de asbesto doblando con cuidado el papel que contiene la muestra.
- C. Con las pinzas saqué con cuidado un matraz bola de fondo plano colóquelo en el desecador durante 0 minutos, enfríe y pese el matraz.
- D. Agregué al matraz 250 mL de hexano.
- E. Coloqué el dedal en el sifón Soxhlet, junto con el matraz bola al refrigerante, encienda la parrilla y abra la llave del agua, déjelo 16 horas sifoneando.
- F. Con cuidado retire el dedal con pinzas, recupere el solvente coloque su matraz en la estufa, déjelo 12 horas, sáquelo enfríelo y pese.

3.3.5.3 Cálculos

$$\%EE = \frac{\textit{Peso del matraz} + \textit{Grasa} - \textit{Peso del matraz vacio}}{\textit{Gramos de muestra}} \times 100$$

3.3.6 Fibra cruda

La fibra, se puede definir como la parte de las plantas comestibles que resiste la digestión acida del estómago y la digestión alcalina del intestino. Esta parte vegetal está formada por un conjunto de compuestos químicos.

La naturaleza química de la fibra cruda, aun cuando no está bien establecida, se considera constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina entre otros hidratos de carbono insolubles o que no se disuelven fácilmente.

3.3.6.1 Materiales y reactivos

- a) Digestor de Labconco.
- b) Vasos Berzelius de 600 mL.
- c) Ácido Sulfúrico 0.255 N.
- d) Hidróxido de Sodio 0.313 N.
- e) Agua destilada.
- f) Filtros de tela.
- g) Embudos de vidrio.

3.3.6.3 Procedimiento

- A. Pesé 2 gramos de muestra desengrasada, colóquela en el vaso Berzelius.
- B. Agregué 100 mL de ácido sulfúrico 0.255 N.
- C. Abra la llave del digestor Labconco, encienda la parrilla de 2-3.5 coloque el vaso.
- D. A partir de que la muestra empiece a hervir se toma el tiempo de 30 minutos.
- E. Calenté agua destilada, coloqué el filtro sobre el embudo filtre la muestra y lave con agua caliente.
- F. Por medio de una espátula vacié la muestra en el vaso, agregue 100 mL de hidróxido de sodio 0.313 N a partir de que empiece a hervir tome el tiempo de 30 min.
- G. Retiré su muestra, fíltrela y lávela con agua caliente con las pinzas saque un crisol de la estufa, por medio de una espátula retire la muestra y colóquela en el crisol.
- H. Dejé el crisol en la estufa durante 12 horas.
- I. Saqué el crisol de la estufa con las pinzas, colóquelo en el desecador enfrié y pese.
- J. Coloqué su crisol en la mufla durante 2 horas, enfrié en el desecador durante 10 minutos y pese.

3.3.6.4 Cálculos

$$\%F = \frac{\text{Peso del crisol con fibra seca} - \text{Peso del crisol con cenizas}}{\text{Gamos de muestra desengrasada}} \times 100$$

3.3.7 Extracto libre de nitrógeno

En realidad no se determina por análisis en el laboratorio, sino que se calcula por diferencia. El E.L.N que se comprende los azúcares, el almidón y grano parte del material clasificado como hemicelulosa. El E.L.N se obtiene sumando los porcentajes cenizas, grasas, proteína y fibra cruda, se resta de 100 partes de muestra analizada. El E.L.N es necesario para realizar el cálculo total de nutrientes digestibles (TND).

3.3.7.1 Cálculos

$$\%E.L.N = \% \text{Cenizas} + \% \text{Extracto etéreo} + \% PC + \% FC - 100$$

3.3.8 Fibra detergente neutra o pared celular (VN SOEST, 1967)

Este método consiste en hervir a reflujo con una solución neutra una muestra de alimento, secado a una temperatura inferior a los 55° C. Al residuo obtenido se le llama pared celular, si proviene de un material vegetal y si es de un material vegetal y si es de un material no vegetal se le denomina fibra detergente neutro. El detergente de ser neutro para evitar que algunos compuestos que pertenecen a la fibra sean disueltos, como sucede con la hemicelulosa, la cual se disuelve a un pH y la lignina se disuelve a pH alcalino.

Composición de la fibra detergente neutro.

Alimento

Fracción insoluble (FDN)

Celulosa

Hemicelulosa

Lignina

Nitrógeno insoluble

Quitina

La fracción insoluble es prácticamente indigestible en no rumiantes pero en rumiantes es parcialmente digestible, este valor de digestibilidad de la fibra detergente neutro está incluido por otros factores.

3.3.8.1 Material

- a) Vaso de Berzelius de 600 mL.
- b) Crisol de vidrio con filtro poroso filtración rápida.
- c) Equipo para filtrar con vacío (matraz Kitazato, embudo de porcelana, comba de vacío).
- d) Balanza analítica Explorer ohaus.
- e) Aparato de reflujo.

3.3.8.2 Reactivos

- a) Solución detergente neutro.- 18.61 E.D.T.A. sal disódica. $2\text{H}_2\text{O}$, Borato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) 6.81 g, disolverlos en 200 mL de agua destilada y calentar si es necesario. Aparte disolver 30 g de Dodecil sulfato de sodio y 10

mL de Etilen glicol monoetil éter en otros 200 mL de agua destilada. Mezclar las dos soluciones. Disolver 4.56 g de Fosfato ácido de sodio (Na_2HPO_4) en 100 mL de agua destilada y calentar. Adicionar esta solución a las dos anteriores y aforar a un litro. El pH debe ser de 6.9 a 7.1.

- b) Acetona.
- c) Solución de yodo.- mezclar 5.08 g de I_2 y 10.2 g de IK, disolver en 100 mL de agua y diluir a un litro.

3.3.8.3 Procedimiento

- A. Pesar 1 g de muestra y depositarlo en un vaso de Bercelius.
- B. Adicionar 100 mL de la solución detergente neutro y 1mL de solución de amilasa si la muestra contiene elevado porcentaje de almidón, como en los caso de cereales y concentrados.
- C. Colocar el vaso con su contenido en el aparato de reflujo Labconco.
- D. Cuando la solución empiece a hervir, tomar el tiempo y reducir la temperatura para que la ebullición sea suave. Hervir el contenido por 60 minutos a partir de la ebullición.
- E. Por separado pesar un crisol capa porosa de vidrio que este a peso constante.
- F. Transcurrido el tiempo filtrar con vacío a través del crisol de vidrio.
- G. Lavar con agua caliente, enjuagando previamente el vaso. Si se adiciono amilasa, adicionar 2 gotas de solución de yodo en el crisol. Una coloración azul indica la presencia de almidón y deberá continuarse los lavados hasta que la reacción del almidón sea negativa.
- H. Quitar el vacío y adicionar 1 mL de acetona desprendiendo la capa de fibra con el agitador. Deja la acetona aproximadamente 1 minuto y aplicar nuevamente vacío. Repetir la operación hasta haber eliminado el color (si existe presencia de color).
- I. Lavar el exterior del crisol con agua destilada (usar piseta).
- J. Secar a 100-103° C durante toda la noche o hasta peso constante.

K. Enfriar en desecador y pesar.

L. Calcular.

3.3.8.4 Cálculos

$$\%F.D.N = \frac{\text{Peso del crisol mas fibra} - \text{Peso del crisol solo}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

3.3.9 Fibra detergente ácida

Es el residuo que queda luego de someter a la fibra detergente neutro a una solución detergente ácido. En este proceso se extrae la hemicelulosa, de tal forma que la fibra remanente estará constituida por celulosa y lignina.

3.3.9.1 Material

- a) Aparato de reflujo Labconco.
- b) Vasos de Berzelius de 600 mL.
- c) Crisol de virio capa porosa (filtración rápida) de 50 mL.
- d) Balanza analítica Explorer ohaus.
- e) Equipo para filtrar el vacío (matraz Kitazato, embudo de porcelana, bomba de vacío).

3.3.9.2 Reactivos

- a) Solución ácido detergente.- Ácido sulfúrico 1N estandarizado, agregar 20 g de Trimetil cetil bromuro de amonio por litro de solución.

- b) Decahidronaftaleno
- c) Acetona grado reactivo.
- d) Hexano grado reactivo.

3.3.9.3 Procedimiento

- A. Pesar 1 g de muestra seca y colocarla en un vaso de Bercelius de 600 mL.
- B. Agregar 100 mL de solución ácido detergente a temperatura ambiente y 2 mL de Decahidronaftaleno.
- C. Colocar el vaso con su contenido en el aparato de reflujo Labconco, a temperatura media.
- D. Cuando empiece a hervir, tomar el tiempo de 60 minutos y bajar la temperatura para que la ebullición sea suave.
- E. Transcurrido el tiempo de digestión, sacar y filtrar con vacío a través del crisol de vidrio capa porosa.
- F. Lavar con agua caliente hasta eliminar la solución detergente ácida.
- G. Quitar el vacío y agregar 1 mL de acetona grado reactivo, dejar por acetona por un minuto y aplicar vacío nuevamente.
- H. Secar en la estufa a 103° C por un periodo de 2 horas.
- I. Sacar de la estufa, enfriar en desecador por 15 minutos y pesar.
- J. Calcular.

3.3.9.4 Cálculos

$$\%F.D.A = \frac{\text{Peso del crisol con fibra} - \text{Peso del crisol solo}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

3.3.10 Lignina y celulosa por el método de permanganato

Un método directo para la determinación de la lignina por medio del permanganato, permite la determinación de celulosa.

Ventajas del método:

El proceso es más corto los reactivos son menos corrosivos y no exigen normalización.

Los resultados están menos afectados por el daño que sufre la muestra debido al calor de los aparatos empleados y por consiguiente se aproxima más al verdadero valor de contenido en lignina.

Desventajas del mismo:

Las partículas de mayor tamaño no las penetran completamente los reactivos, y en estos casos, los resultados dan valores bajos.

En consecuencia, los materiales con alto contenido de humedad deberían secarse previamente y molerse a través de un tamiz de 1mm para reducir el tamaño de partículas. Este método no es adecuado para heces y forrajes frescos que han sido molidas en un molino para carnes, cuya forma física es inapropiada.

3.3.10.1 Equipo

- a) Igual que en fibra ácido- detergente.

3.3.10.2 Reactivos

- A. KMnO_4 saturado. Disolver 50 g de KMnO_4 l de agua. Colocar en frasco ámbar para proteger de la luz.

- B. Solución buffer de lignina. Disolver 6 g de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y 0.15 g de AgNO_3 en 100 mL de agua destilada. Combine esta mezcla con 500 mL de Ácido acético glacial y 5g de Acetato de potasio. Agregar 400 mL de alcohol butílico terciario y mezclar la solución.
- C. Solución de KMnO_4 combinada.
Antes de ser usada, combine, y a la vez mezcle la solución de KMnO_4 saturada con la solución buffer e lignina en la relación de 2:1 por volumen, la porción no utilizada de esta mezcla puede mantenerse por una semana en refrigeración en ausencia de luz. Esta solución puede utilizarse si mantiene el color morado y está libre de precipitado.
- D. Solución desmineralizadora.
Para cada litro de solución, disolver 50 g de ácido oxálico deshidratado en 700 mL de alcohol etílico de 95%. Agregar 50 mL de HCl concentrado (12N) con 250 ml de agua destilada y mezclar.
- E. Alcohol etílico al 80%-845 mL de alcohol etílico al 95% y 155 mL de agua destilada.
- F. HBr grado reactivo.

3.3.10.3 Procedimiento

- A. El residuo de la determinación de ácido detergente (fibra) se utiliza (aplicando el peso original de la muestra).
- B. Colocar los crisoles que contienen la fibra ácido- detergente en una bandeja de vidrio de poca profundidad que tenga una capa de 1 cm de espesor de agua fría. La fibra dentro de los crisoles no se debe mojar.
- C. Agregar a los crisoles aproximadamente 25 mL de solución combinada de permanganato de potasio sin llenarlos demasiado.

- D. Con una varilla de vidrio en cada crisol remover la muestra deshaciendo los grumos y bañar todas las partículas que se adhieren a las paredes internas de crisol con la solución de KMnO_4 .
- E. Dejar los crisoles 90+110 minutos a temperatura de 20-25°C agregando si fuera necesario, una cantidad adicional de la solución combinada de permanganato de potasio.
- F. El color morado lo debe conservar constantemente.
- G. Colocar los crisoles en los matraces de filtración, filtrando toda la porción líquida. Colocar los crisoles en bandejas limpias de vidrio o porcelana y llenarlas hasta la mitad con la solución anterior. Repita la adición de la solución desmineralizadora por 3^a, vez si se observa que el filtrado del 2^a tratamiento esta café oscuro.
- H. Lavé además las paredes internas de los crisoles, el color de la fibra debe ser blanco. (tiempo 20-30 minutos).
- I. Llené y lavé el contenido de los crisoles con alcohol etílico al 80%; fíltrelo y repita este lavado 2 veces.
- J. Lave y filtre las muestras 2 veces también con acetona.

1.- Para obtener el contenido de lignina

Seque los crisoles durante la noche a 105°C de temperatura; luego déjese enfriar en un desecador y péselos. El contenido de lignina se calcula en base a la pérdida de peso original de la fibra obtenida por el método ácido-detergente.

2.- Para obtener el contenido de celulosa

Incinerar la muestra procedente de la determinación de lignina a 500°C durante 3 horas, enfriar en desecador y pesar.

3.3.10.4 Cálculos

$$\% \text{ de Lignina} = \frac{(\text{Peso de la FDA} - \text{Peso de la fibra x KMnO}_4)}{\text{Peso de la muestra original seca}} \times 100$$

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{\text{Crisol con residuo de fibra x KMnO}_4 (\text{estufa}) - \text{Crisol} + \text{Ceniza (mufla)}}{\text{Peso de la muestra original seca}} \times 100$$

3.3.11 Minerales

3.3.11.1 Materiales y equipo

- a) Vaso de precipitado de 100 mL.
- b) Ácido perclórico.
- c) Ácido nítrico.
- d) Plancha de calentamiento.
- e) Matraz de aforación de 100 mL.
- f) Papel filtro No 42, sin cenizas.
- g) Agua desionizada.
- h) Espectrofotómetro de absorción atómica (marca Varían serie AA-1275).
- i) Colorímetro.

3.3.11.2 procedimiento

- A. Pesé 1 gramo de muestra.
- B. Coloqué en un vaso de precipitado de 100 mL.
- C. Preparé una mezcla 1:3 de ácido perclórico y ácido nítrico.

- D. Agregué 40 mL a cada vaso y coloqué en una plancha de calentamiento, hasta digerir la muestra en ebullición suave, hasta llegar a un cambio de color cristalino claro cuando esto sucede nos indica que ya está digerida la muestra.
- E. Filtré la muestra digerida y diluirla con agua desionizada y coloqué en un matraz de aforación de 100 mL, utilizar un papel filtro no 42 sin cenizas para aforar con agua desionizada a 100 mL.
- F. Pasé a leer muestras ya sea en el colorímetro (caso del fósforo) o en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.3.12 Digestibilidad *in vitro* usando el incubador “DAISY”

La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a su solubilización o ataque por los microorganismos anaerobios ruminales. La digestibilidad de los forrajes permite estimar la proporción de nutrientes presentes en el alimento, que tienen potencial de ser absorbidos por el tracto digestivo. El conocimiento de la degradabilidad, la digestibilidad de los alimentos son fundamentales para establecer su valor nutritivo y por tanto, para la formulación de raciones para rumiantes.

El principio de funcionamiento del Daisy consiste en establecer condiciones de incubación semejante a las condiciones *in vivo*, de tal manera que el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a la anaerobiosis necesaria en el proceso.

3.3.12.1 Materiales

- a) Incubadora DAISY marca ANKOM Technology modelo D200.
- b) Bolsa que impulsa a sellar al calor.
- c) Cilindros graduados de 1 l y 500 mL.

- d) 2 termos.
- e) Tela para filtrar (grasa).
- f) Analizador de fibra ANKIM 200/220.

3.3.12.2 Reactivos

Para un frasco digestor:

1) *Solución Buffer A.*

- a) 13.31 g de KH_2PO_4 (Fosfato de potasio).
- b) 0.665 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Sulfato de potasio).
- c) 0.665 g de NaCl (Cloruro de sodio).
- d) 0.133 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Cloruro de calcio).
- e) 0.665 g de Urea (reactivo de marca).

2) *Solución Buffer B.*

- a) 3.99 g de Na_2CO_3 (Bicarbonato de sodio).
- b) 0.266 g de $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Sulfuro de sodio).

3) *400 mL de Inoculo fluido de rumen.*

4) *Gasa.*

5) *Reactivos para determinar Fibra Detergente Neutro.*

3.3.12.3 Procedimiento

Preparación de bolsas para filtrar.

- A. Remojarlas en jabón líquido y cloro por 24 horas.

- B. Enjuagar al chorro de la llave.
- C. Extenderlas en una superficie limpia e inclinada.
- D. Dejarlas secar 24 horas.
- E. Pre enjuagar las bolsas para filtrar en acetona de 3 a 5 minutos y complete el tiempo con aire seco. La acetona enjuaga y remueve una superficie que inhibe la digestión microbiana.
- F. Pesar cada bolsa para filtrar F57. y registrar su peso (W1).
- G. Poner en cero la balanza y pesar directamente en el filtro 0.25 g de muestra (W2).

Nota: una muestra con tamaño de 0.5 g en una digestión de 48 horas es aceptable de acuerdo a estudios recientes. De cualquier modo usando 0.25 g de muestra colocarla en la bolsa y sellada al calor e introducirla al frasco digestor en el cual caven 25 muestras las cuales deben estar distribuidas por ambos lados del divisor plástico del frasco. Colocar también una bolsa sellada esta será el blanco que se utilizara como factor de corrección (CI).

Preparación de la mezcla de Solución Buffer: (para cada frasco digestor).

- A. Pre caliente a 39°C ambas soluciones (A y B) en recipientes separados.
- B. Agregue 266 mL de solución B A 1330 ml de la solución A proporción (1:5) 6.8 a 39°C. No más arriba de 6.8, el ajuste del pH es necesario.
- C. Agregue 1600 mL de la mezcla A y B a cada frasco que contiene las bolsas con muestra.
- D. Coloque los frascos ya con muestra y la solución Buffer dentro de incubadora DEISY y active el botón de la temperatura, y el agitador (la luz roja en el botón indica encendido).
- E. Equilibre la temperatura de los frascos de digestión dejándolos por un mínimo de 20 a 30 minutos. Este tiempo los puedes usar para la colección y preparación de inóculo del rumen.

Preparación del inóculo e incubación.

- A. Mantener todo el material de cristal a 39°C.
- B. Pre caliente 2 termos de capacidad de 2 l con agua a 39°C, vacíe el agua caliente justo antes de la colección del rumen inoculado.
- C. Usando el procedimiento adecuado para la colección tire los dos litros de agua a 39°C de los termos para poder agregar el inóculo del rumen a los termos.
- D. Agregué aproximadamente 2 puñados de material fibroso de rumen con su colección en uno de los termos.
- E. Vacía el inóculo del rumen de los termos dentro del recipiente agitar.
- F. Purga el recipiente agitador con gas CO₂ y mézclalo en una velocidad alta por 30 segundos, la acción de mezclar sirve para desalojar microbios que son agregados al material y así asegurar una población representativa de la fermentación *in vitro*.
- G. Filtrar la mezcla digerida dentro de un matraz de 5 l (pre calentado a 39°C) a través de 4 capas de gasa.
- H. Filtré el fluido del rumen restante de los otros termos a través de 4 capas limpias de gasa en el mismo matraz de 5 l.

Nota: deje gasa extra alrededor de la orilla que facilite exprimir el contenido del material filtrado.

- I. El matraz debe estar continuamente purgado con CO₂ y continuar purgándolo durante la transferencia del inóculo.
- J. Mida 400 mL de inóculo del rumen en un cilindro graduado y agréguelos a uno de los frascos digestores en el cual se encuentra la solución buffer y las muestras, purgue el frasco digestor con gas CO₂ por 30 segundos cierre y asegure bien la tapa.
- K. Repita el proceso para todos los frascos digestores que usted use.

Nota: no permita que el gas CO₂ haga burbujas a través del inoculo buffer, se sugiere que se use CO₂ en forma gaseosa y lo aplique colocando una manta encima del contenido del frasco.

- L. Incubación (confirme que los botones de la temperatura y la agitación estén encendidos).
- M. La determinación *in vitro* en periodo de 48 horas los resultados son confiables. El incubador DEISY se mantiene a una temperatura de 39°C+- 0.5.
- N. Al completar la incubación, remueva la jarra y tire el fluido, enjuague las bolsas minuciosamente con agua fría y golpee ligeramente en el agua hasta que queden limpias.
- O. Use un mínimo de agitación mecánica.
- P. Coloque las bolsas enjuagadas dentro del analizador de fibra ANCOM 200/220 y siga el procedimiento para determinar fibra detergente neutra.
- Q. Registre el peso de la bola al salir de la digestión *in vitro* como W3 para usarlo en la formula siguiente.
- R. El análisis de la fibra detergente neutro remueve el desecho microbial y algunas fracciones solubles restantes.

Nota: las bolsas pueden ser almacenadas en el refrigerador o en el congelador hasta que la determinación de FDN pueda ser realizada.

3.3.12.4 Cálculos

$$\%DIV = 100 - \frac{((W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100$$

$$\%DIV Ms = 100 - \frac{((W3 - (W1 \times C1))}{W2 \times Ms} \times 100$$

3.3.13 Formulación para la determinación de la digestibilidad

Se sometió a digestibilidad la muestra de bagazo solo y tres fórmulas donde fue combinado con otros ingredientes.

Las formulas se elaboraron para un novillo cebú, sometido a engorda con un peso inicial de 350 kg, para ser llevado a un peso final deseado de 440 kg, con una ganancia de peso deseada de 900 g, una complejión mediana sin crecimiento compensatorio, con un porcentaje de forraje en la dieta de 50%.

Cuadro 3.1 Requerimientos nutricionales del novillo

%PC	10.25
ENm (Mcal/kg)	0.70
ENg (Mcal/kg)	0.40
%Ca	0.49
%P	0.25

Los requerimientos fueron calculados en el programa NRC- CaOviBov.

Para formular se utilizaron los siguientes ingredientes. A continuación se presentan sus aportaciones nutricionales de cada uno sacadas de las tablas del NRC (National Research Council).

Cuadro 3.2 Contenidos nutricionales

INGREDIENTE	%PC	*ENm (Mcal/kg)	*ENg (Mcal/kg)	%Ca	%P
Pollinaza	24.5	1.51	0.91	3.16	1.78
Bagazo de Agave	3.17	0.73	0.26	7.3	0.20
Rastrojo de Maíz	6.6	0.97	0.42	0.57	0.10
Melaza	5.8	1.70	1.08	1.00	0.11
Maíz Grano	11.20	2.38	1.67		
NaCl					
CaCO ₃				38.00	
NaH ₂ PO ₄					21.80
Vit/Mix					
Min/Mix					

*Las energías del bagazo de agave fueron calculadas por ecuaciones NRC 1998.

3.3.12.5. Fórmulas

Cabe mencionar que se formuló a 1, para ellos se utilizó el programa UFFF (User Friendly Feed Formulation Program).

Cuadro 3.3 Fórmula 1

Nombre del ingrediente	Utilización en la fórmula
Bagazo de agave	0.0000
Maíz rastrojo	0.5000
Pollinaza	0.1956
Melaza	0.0969
Maíz grano	0.1425
NaCl	0.0050
CaCO ₃	0.0000
NaH ₂ PO ₄	0.0000
Vit/Mix	0.0050
Min/Mix	0.0050

Cuadro 3.4 Fórmula 2

Nombre del ingrediente	Utilización en la fórmula
Bagazo de agave	0.2500
Maíz rastrojo	0.2500
Pollinaza	0.2358
Melaza	0.0373
Maíz grano	0.1619
NaCl	0.0050
CaCO ₃	0.0000
NaH ₂ PO ₄	0.0000
Vit/Mix	0.0050
Min/Mix	0.0050

Cuadro 3.5 Fórmula 3

Nombre del ingrediente	Utilización en la fórmula
Bagazo de agave	0.5000
Maíz rastrojo	0.0000
Pollinaza	0.2247
Melaza	0.0000
Maíz grano	0.2821
NaCl	0.0050
CaCO ₃	0.0000
NaH ₂ PO ₄	0.0000
Vit/Mix	0.0050
Min/Mix	0.0050

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis bromatológico

Los resultados obtenidos en este trabajo respecto al análisis bromatológico realizado a las muestras se pueden observar en el Cuadro 4.2 donde los resultados obtenidos se realizaron con tres repeticiones y su respectiva media de cada variable analizada.

Cuadro 4.1 Resultados de materia seca parcial y humedad contenidos en el bagazo de *agave angustifolia*

%MSP	%Humedad
18.63	81.37

Cuadro 4.2 Resultados de análisis bromatológico al bagazo de agave mezcalero espadín (*agave angustifolia*)

Variables Analizadas	Repeticiones			Medias
	1	2	3	
MST (%)	94.24	94.06	94.70	94.33
PC (%) ^b	3.11	3.32	3.10	3.18
EE (%) ^b	1.48	1.66	1.59	1.58
Cenizas (%) ^b	10.65	10.22	10.70	10.52
ELN (%) ^b	54.59	56.75	55.96	55.76
FC (%) ^b	30.17	28.05	28.66	28.96
FDA (%) ^b	36.87	38.97	38.50	38.11
FDN (%) ^b	46.32	44.81	42.50	44.54
Lignina (%) ^b	3.67	4.84	5.91	4.81
Celulosa (%) ^b	29.95	30.82	26.20	29.99

^b En base seca

La composición química del bagazo de agave *angustifolia* realizado muestra unos resultados muy parecidos a los obtenidos en el trabajo de **Gutiérrez et al, 2013** en lo único que se tiene diferencia es la lignina y celulosa ya que en nuestro estudio salieron valores muy bajos 4.81% y 29.99% respectivamente lo que puede actuar positivamente ya que este tipo de fibras disminuyen la digestibilidad del bagazo.

En cuanto a otras variables analizadas los parámetros comparándolos con los trabajos antes expuestos son similares a los mostrados en el Cuadro 2.7 como el caso del % MSP, % Humedad, y % Cenizas reportándonos valores de 18.63, 81.37 y 10.52 respectivamente.

Comparando con otros autores nuestros resultados encontramos que los valores resultantes en cuanto a PC, FDN, FDA, Lignina y Celulosa se refiere, están muy por debajo de los valores que presentan **Ortiz Tovar et al. 2007** y **García-Reyes y Rangel-Méndez, 2009**.

En cuanto a la comparación de la composición química del *agave angustifolia* y otros agaves como lo es el *salmiana* y *webery* Cuadro 2.8 **Ruíz et al, 2015** hace esta comparación con estos dos bagazos los cuales en sus valores que presenta solo en cuanto al %FDN presenta similitud a nuestros resultados en ambos agaves y en cuanto a porcentajes de MS, Cenizas, FC y EE estos dos tipos de agave están en cantidades inferiores a los resultantes en nuestro trabajo.

Pasa algo muy curioso en cuanto al porcentaje de proteína ya que el *agave salmiana* presenta un 1.56% debajo de nuestro resultado que es 3.18% pero el *agave webery* presenta un valor más alto que estos dos con 4.41% **Ruíz et al, 2015** menciona que los resultados de su estudio mostraron que los niveles de proteína no son óptimos para maximizar el metabolismo microbiano del rumen ya que los niveles estimados son entre 7 y 8%, por lo que nuestro resultado también muestra que este nutriente no es suficiente en la nutrición animal hay que complementarlo con otros nutrientes proteicos para llenar los requerimientos necesarios.

4.2 Minerales

En cuanto a minerales se trata los resultados obtenidos en sus tres repeticiones analizadas de la muestra de bagazo de agave se muestra en el Cuadro 4.3 con sus respectivas medias aritméticas.

Cuadro 4.3 Resultado de minerales presentes en el bagazo de agave mezcalero espadín (*agave angustifolia*)

Mineral	Repeticiones			Medias
	1	2	3	
Zinc (ppm)	93	42	42	59
Fierro (ppm)	476	351	381	402.67
Calcio (%)	7	6	9	7.33
Magnesio (%)	0.36	0.31	0.33	0.33
Potasio (%)	0.35	0.34	0.38	0.36
Sodio (%)	0.0127	0.0115	0.0135	0.0126
Manganeso (ppm)	12	10	10	10.67
Cobre (ppm)	39	39	38	38.67
Fósforo (%)	0.2076	0.1122	0.1230	0.1476

Los minerales en la nutrición animal son de gran importancia ya que a partir de ellos se realizan funciones en el organismo que son imprescindibles para un desarrollo óptimo y una producción adecuada.

Los resultados obtenidos en los análisis realizados en este trabajo nos muestra que el bagazo de *agave angustifolia* es una excelente fuente de calcio, nuestros resultados concuerdan con **Chávez-Guerrero et al. 2010** quien lo reporto en *agave salmiana*.

Ruíz et al, 2015 también determinó al agave como una fuente natural de calcio. La cantidad que nuestra investigación reportó de calcio, perfectamente cubre los

requerimientos de bovinos y ovejas en cuanto a calcio se refiere, por lo cual si un rumiante en época de estiaje consume bagazo de agave se espera satisfaga sus necesidades de calcio a la perfección.

El hierro es otro de los minerales que el bagazo de agave tiene en abundancia ya que se encuentra en cantidades muy altas. El **NRC, 2007** reporto que requerimientos para rumiantes de este mineral es de 40 y 50 ppm por lo que, consumiendo bagazo de agave llena y sobre pasa esos requerimientos como se muestra en el Cuadro 4.3 tiene una media aritmética de 402.67 ppm.

De acuerdo con los valores obtenidos por **Ruíz et al, 2015** en los *agaves salmiana* y *webery* Cuadro 2.9 se puede decir que son muy parecidos a los obtenidos en este trabajo, pues en cuanto a los minerales como lo es el magnesio, potasio y manganeso presentan valores de 0.12%,0.43% y 8.16 ppm respectivamente esto en comparación con el *agave salmiana* y con el *agave webery* hay una acercamiento en cuanto al fierro con 485 ppm. Aunque también presentan una gran diferencia en cuanto al fósforo, zinc, calcio y cobre presentando valores muy bajos como son 0.02%, 25.9 ppm, 1.95% respectivamente comparándolo con el *agave webery* quien al parecer tiene los valores más bajos de los tres agaves comparados, y el cobre lo comparamos con el *agave salmiana* teniendo un valor de 1.89 ppm.

Los valores reportados en nuestro trabajo Cuadro 4.3 son mayores a los presentados en el Cuadro 2.9, lo que nos permite decir que el bagazo de *agave angustifolia* es rico en minerales a comparación de los *agaves salmiana* y *webery*.

4.3 Digestibilidad *in vitro*

A continuación se muestran los resultados de las muestras sometidas a digestibilidad las cuales fueron diferentes tratamientos el bagazo de agave y tres fórmulas elaboradas para un novillo cebú sometido a engorda.

Cuadro 4.4 % de digestibilidad de los tratamientos y su ajuste a MST

Tratamiento	Muestra	%Digestibilidad	% Div ajustado a MST
Bagazo de agave	1	57.41	60.86
Bagazo de agave	2	54.09	60.78
Bagazo de agave	3	53.98	59.82
Fórmula 1	1	42.76	48.05
Fórmula 1	2	42.98	47.62
Fórmula 1	3	42.52	47.42
Fórmula 2	1	70.18	77.76
Fórmula 2	2	69.39	77.39
Fórmula 2	3	70.32	77.92
Fórmula 3	1	61.39	68.47
Fórmula 3	2	58.35	65.08
Fórmula 3	3	60.31	67.27

4.3.1 Resultados del análisis de KRUSKAL-WALLIS para comparar los tratamientos

Multiple Comparisons p values (2-tailed); %DIGESTIBILIDAD (digestibilidad.sta)

Independent (grouping) variable: TRATAMIENTO

Kruskal-Wallis test: H (3, N= 12) =10.38462 p =.0156

Cuadro 4.5 Resultados estadísticos de los tratamientos sin ajuste a MST

	Bagazo de agave	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3
Bagazo de agave		1.00	0.25	1.00
Fórmula 1	1.00		0.01	0.25
Fórmula 2	0.25	0.01		1.00
Fórmula 3	1.00	0.25	1.00	

Los valores en las celdas no son promedios, son probabilidades.

Para % de digestibilidad son diferentes entre sí la fórmula 1 de la 2.

Multiple Comparisons p values (2-tailed); % DIV AJUSTADO A MST (digestibilidad.sta)

Independent (grouping) variable: TRATAMIENTO

Kruskal-Wallis test: H (3, N= 12) =10.38462 p =.0156

Cuadro 4.6 Resultados estadísticos de los tratamientos ajustados a MST

	Bagazo de agave R:5.0000	Fórmula 1 R:2.0000	Fórmula 2 R:11.000	Fórmula 3 R:8.0000
Bagazo de agave		1.00	0.25	1.00
Fórmula 1	1.00		0.01	0.25
Fórmula 2	0.25	0.01		1.00
Fórmula 3	1.00	0.25	1.00	

Para % DIV (Digestibilidad *in vitro*) AJUSTADO A MST son diferentes entre sí la fórmula 1 de la 2.

Los resultados arrojados por el análisis estadístico de KRUSKAL-WALLIS para comparar los tratamientos sometidos a digestibilidad que se muestran en los Cuadros 4.5 y 4.6, nos muestra que el %DIV tanto ajustado y no ajustado a materia seca son estadísticamente diferentes la fórmula 1 y 2 (color rojo) de el bagazo de agave y la fórmula 3.

Las tres fórmulas contienen en cantidades iguales NaCl (0.0050), CaCO₃ (0.0000), NaH₂PO₄ (0.0000), Vit /Mix (0.0050), Min/Mix (0.0050), su diferencia radica en la

cantidad de forraje, grano y fuente de proteína ya que la fórmula uno contiene un 50% de rastrojo de maíz, nada de bagazo de agave, pollinaza en un 19%, melaza en un 9% y maíz grano en un 14% y la fórmula dos contiene 25% de rastrojo de maíz, 25% de bagazo de agave, pollinaza en un 23%, melaza 3%, maíz grano 16%.

Por el contrario la fórmula 3 contiene un 50% de bagazo de agave, nada de rastrojo de maíz, pollinaza en un 22%, nada de melaza y maíz grano en un 28% y el bagazo de agave se encuentra en un 100%.

Entonces por eso es que estas dos tuvieron más o menos un mismo % de DIV ya que contienen más bagazo de agave que las otras fórmulas y como se reportó en la literatura por **Alonso y Rigal, 1997** y **Grabber, 2005** el bagazo tiene como limitante para su aprovechamiento la lignina y esto hace que su digestibilidad sea baja, **Cortina R.R.C. et al, 2012** reportan un 36% de digestibilidad de bagazo de *agave tequilana* por lo que nuestra muestra analizada está muy por arriba del porcentaje reportado teniendo un 60% y también hay que tomar en cuenta que este es un *agave angustifolia*.

La fórmula uno tuvo menor digestibilidad porque tiene más rastrojo de maíz en su estructura aunque se reportan digestibilidades del rastrojo de maíz de un 60%.

La fórmula dos presentó un 70% comprobando que el bagazo de agave y el rastrojo de maíz mezclados con otros ingredientes mejoran su aprovechamiento por el animal. Como lo reportó **García et al, 2010** que alimentando borregos con bagazo de *agave tequilana*, rastrojo de maíz, rastrojo de soya y harina de pescado o harinolina, mantenía su peso durante época de escases, y además acortaban el tiempo de engorda llegando a un peso al mercado más pronto. Nuestro trabajo confirma esa teoría ya que esas fórmulas analizadas fueron hechas para ganancia de peso no para mantenimiento.

De acuerdo con los valores obtenidos Cuadro 4.4 en cuanto al porcentaje de digestibilidad obtenidos en la evaluación a la fórmula 1 son muy parecidos a los reportados por **Jiménez 1981** en un tiempo de 72 hrs en sus tres tratamientos evaluados, cabe mencionar que nuestras muestras también estuvieron en digestión 72 hrs teniendo valores muy por arriba de los que reporto **Jiménez 1981** en sus tratamientos y en sus cuatro diferentes tiempos de digestión 24, 48, 72 y 96 hrs.

5. CONCLUSIONES

En base a nuestros resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Sé acepta nuestra hipótesis ya que el estudio y las pruebas realizadas nos demuestran la cantidad de nutrientes que nos ofrece el bagazo de *agave angustifolia*, la riqueza de minerales que tiene en comparación con otros agaves y lo más importante que al ser mezclado con otros ingredientes para su complementación nutritiva da buenos resultados y este desecho de la industria mezcalera puede tener un uso en la nutrición animal.
- Dando como resultado no solo el mantenimiento de animales en época de estiaje sino una ganancia diaria de peso, preparando al animal para que llegue a su peso deseado en el mercado, ya que en el sur los animales de raza cebú son más difíciles de engordar en sistemas intensivos y son sometidos más a pastoreo, alimentándose de forrajes poco nutritivos; así que sería una buena opción suplementar con la mezcla de bagazo de agave con otros ingredientes.
- Sé realizó la caracterización química del bagazo por medio de análisis bromatológico dando como resultados medias aritméticas de MST 94%, PC 3%, EE 1.5%, Cenizas 10%, ELN 55%, FC 28%, FDA 38%, FDN 44%, Lignina 4% y celulosa 29%, en base seca.
- Sé determinó el contenido de minerales, dando como resultados las siguientes medias aritméticas de Zn 59 ppm, Fe 402 ppm, Ca 7%, Mg 0.33%, K 0.36%, Na 0.01%, P 0.14%, Mn 10 ppm, Cu 38 ppm.

- Se evaluó la digestibilidad *in vitro* del bagazo y tres formulaciones, dando como resultado el %DIV muy por arriba de los reportados en la literatura, siendo diferentes entre sí la fórmula 1 de la 2. Siendo mejor la dos al presentar una digestibilidad de 70 % por lo que se concluye que sí se puede utilizar en la nutrición animal.

6. LITERATURA CITADA

- Abad M., Noguera P. y Carrión C. 2004.** Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Manual del cultivo sin suelo. (M. Urrestarazu, Ed.) 3a. ed. MundiPrensa. Madrid, España. pp. 113-158.
- Alonso, G. M. S., & Rigal, L. (1997).** Caracterización y valorización del bagazo de *Agave tequilana* Weber de la industria del tequila. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 3(2), 31-39. Obtenido EL 21 de abril del 2016, de http://www.chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_articulo=786
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1980.** (Association of Official Analytical Chemist Official Methods of Analytical Chemist) Washington, D.C.
- BALAM, C.R., Duarte, A.S., y Canché, E.G. 2006.** Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibra de la piña de henequén y polipropileno. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 5 (1):39-44.
- Barroso, C.M. 2010.** Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica de Madrid.
- Blunden, G. and Yi, Y. and Jewers, K. 1973.** Comparative leaf anatomy of *Agave*, *Beeschorneria*, *Doryanthes*, and *Furcraea* species (Agavaceae-Agaveae). *Bot. J. Linnean Soc.* 66:157-179.
- Carulla et al., 2004.** Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana. En: memorias seminario nacional de lechería especializada: bases nutricionales y su impacto en la productividad.
- ©2015 Consejo Regulador del Mezcal A. C. Denominación de origen del mezcal, obtenida el 23 de febrero del 2016 de <http://www.crm.org.mx/>

- Chagoya-Méndez, V.M. 2004.** Diagnóstico de la cadena productiva del sistema producto maguey-mezcal. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación SAGARPA Delegación Oaxaca, Oaxaca, México. 167 p. obtenida el 18 de febrero del 2016 de: <http://www.oedrusoaxaca.gob.mx/Estudios/diagnostico/SPMM%20VERSION%20FINAL.swf>
- Chávez-Guerrero, L.; Flores, J. and Kharissov, B. I. 2010.** Recycling of ash from mezcal industry: a renewable source of lime. *Chemosphere*. 81(5):633-638.
- Espinosa, P.H., Arredondo V.C., Cano G.M., Canseco I.A. y Vásquez Q.F. 2002.** La materia prima para producir mezcal oaxaqueño. Catálogo de diversidad de agaves. Folleto técnico N° 2. Campo experimental Valles centrales de Oaxaca. INIFAP. 66p.
- Cortina R.R.C. et al, 2012.** Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Vol.18 no.3 Chapingo. Obtenido el 20 de abril del 2016 de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v18n3/v18n3a15.pdf>
- G.A. Martínez Gutiérrez et al. 2013.** Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate (versión electrónica). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (3) 209-216, obtenida el 14 de febrero del 2016 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n3/v29n3a7.pdf>
- García et al, 2004.** Biodiversidad de Oaxaca UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF. México.
- García et al, 2010.** El género *agave* spp. En México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. Profesores investigadores. Campus san Luis Potosí, Colegio de Postgraduados. Iturbide no 73. Salinas Hidalgo, SLP. México.

- García-Reyes, B. R. and Rangel-Méndez, J. R. 2009.** Contribution of agrowaste material main components (hemicelluloses, cellulose, and lignin) to the removal of chromium (III) from aqueous solution. *J. Chem. Tech. Biotech.* 84:1533-1538.
- Gentry H.S. 1978.** The Agaves of Baja California. California Academy of Sciences, No. 130.
- Gentry H.S. 1982.** Agaves of Continental North America. University of Arizona Press. Tucson, Az.
- Graber, J. H. (2005).** How do lignine composition, structure, and cross-linking, affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Science*, 845, 820-831.
- Granados S., D. 1993.** Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Gómez- Pompa, A. 1963.** “El Género Agave”. En: Órgano de la sociedad mexicana de cactología. Vol. III. No.1.
- Gómez- Pompa, A. 1985.** Los recursos bióticos de México: Reflexiones. México, D.F., Editorial alambra mexicana, S.A. de C.V. 122p.
- González et al, 2005.** Potencial del bagazo de Agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos e-Gnosis. núm. 3, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Gonzantti, C. 1947.** Flora taxonómica mexicana. Tomo 2. Talleres gráficos de la nación. México, D.F.
- Gutiérrez et al, 2013.** Tiempos de apilado del bagazo de maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (3) 209-216. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Oax, México.

- Idarraga G., Ramos J., Zúñiga V., Sahin T. y Young R. A. 1999.** Pulp and paper from blue Agave waste from tequila production. *J. Agr. Food Chem.* 47, 4450-4455.
- Iliangovan K. Linerio J. Álvarez E. Briones M. Noyola A. 1996.** Biodegradación de compuestos orgánicos industriales. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 38.51.
- Íñiguez G., Lange S. E. y Rowell R. M. 2001a.** Utilization of by-products from the tequila industry: Part 1: Agave bagasse as a raw material for animal feeding and fibreboard production. *Bioresource Technol.* 77, 25-32.
- Íñiguez-Covarrubias, G.; Lange, S. E. and Rowell, R. M. 2001.** Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. *Biores. Tehcnol.* 77:25-32.
- Íñiguez G., Lange S. E. y Rowell R. M. 2001b.** Utilization of by-products from the tequila industry: Part 2: Potential value of Agave tequilana Weber azul leaves. *Bioresource Technol.* 77, 101-108.
- Jiménez C.J. 1981.** Tesis “Digestibilidad in vitro de la materia seca del bagazo de *agave tequilana* en diferentes proporciones en el ensilado de maíz”. Universidad de Guadalajara, Escuela de Agricultura. Obtenido el 20 de abril del 2016 de: http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1462/Co_rdero_Jimenez_Jorge.pdf?sequence=1
- Las Garrafas, mezcal de Oaxaca. (2012).** “Ensamble”, obtenida el 23 de febrero del 2016 de <http://mezcalgarrafas.com/ensamble.html>
- Mariles F.V, 2014.** Relación entre las clases de tierra y la calidad de *Agave Angustifolia Haw.* En la Soledad Salinas, Quiatoni, Oaxaca, México. Colegio de postgraduados. Instituto en enseñanza e investigación en ciencias agrícolas Montecillo, Texcoco, Edo. De México.

- Martínez-Gutiérrez G. A., Zárate Altamirano, G. y Urrestarazu M. 2012.** Maguery bagasse waste: a sustainable substrate in soilless culture by melon and tomato crop. *J. Plant Nutr.* 35, 2135-2144.
- Medina, L.J.B., Salinas, C.H.J., Lerma, D.E.C., Martinez, D.R., Yado, P.R. 1995.** Digestibilidad *in vivo* del ensilaje de baya madura de calabaza (*cucúrbita máxima*) con soca de sorgo, urea y melaza en raciones integrales para ovinos. Memoria VII Congreso Nacional De Producción Ovina AMTEO Chapingo, México. Pp. 77.81.
- Muro R.A., 2007.** Efectos de la fuente de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y proteína sobre la cinética de degradación ruminal *In vitro*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. P.85-89.
- Maynard, L. A.; Loosli, J. K.; Hintz, H. F. and Warner, R. G. 1981.** Nutrición animal. 7a (Ed.). McGraw-Hill. 640 p.
- NRC (Nutrient Requirements of Beef Cattle). 2007.** 7th. Ed. NRC- NAP- Washington.
- NOM-070-SCFI-1994.** NORMA OFICIAL MEXICANA. BEBIDAS ALCOHOLICAS. MEZCAL. Secretaria de salud. Obtenida el 9 de febrero del 2016, de <http://www.colpos.mx/bancodenormas/noficiales/NOM-070-SCFI-1994.PDF>
- Ruíz et al, 2015.** Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. “Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes”. *Pub. Esp. Núm. 11* 16 de mayo - 29 de junio, 2015 p. 2099-2103.
- Ortiz-Tovar, G.; López-Miranda, J.; Cerrillo-Soto, M. A.; Juárez-Reyes, A.; Favela-Torres, E. and Soto-Cruz, O. 2007.** Effect of solid substrate fermentation on the nutritional quality of agroindustrial residues. *INCI.* 32(5):339-343.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola. Fuente: www.siap.gob.mx. Consultado el 10 de marzo del 2016.

Paredes-Ibarra, F. J.; Orozco-Hernández, J. R.; Verdin-Sánchez, H.; Montanez-Valdez, O. D.; Alvarado-Loza, E. and Fuentes Hernández, V. O. 2009. Effect of alkali treatment of agave azul tequilana bagasse on the pelibuey lamb intake and apparent digestibility. Res. J. Biol. Sci. 4(11):1132-1134.

Plascencia D.D., Flores M.F.P n.d. Importancia de los minerales en la nutrición de los rumiantes. Obtenida el 9 de abril del 2016, de: <http://lebas.com.mx/files/Importancia-de-los-minerales-en-los-rumiantes.pdf>