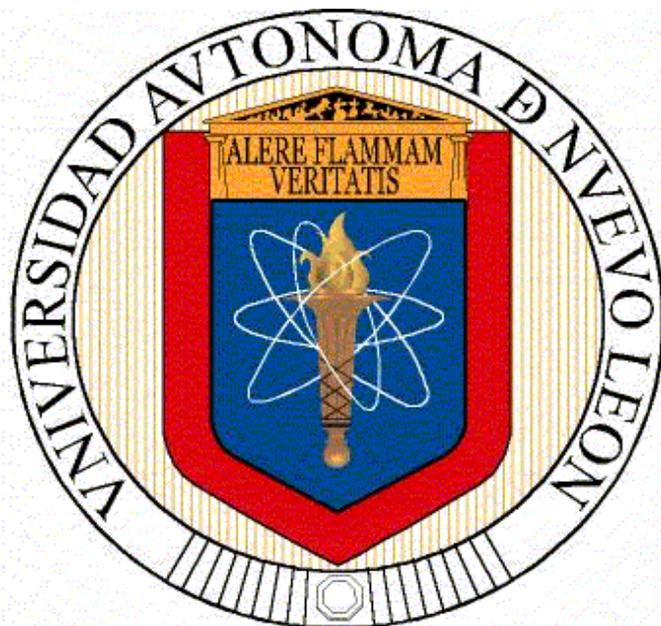


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**EVALUACIÓN DEL USO DE *Quercus rugosa* Née Y *Quercus resinosa*
Liebm. EN LA ALIMENTACIÓN DE PEQUEÑOS RUMIANTES**

POR

MC. OCTAVIO CARRILLO MURO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS
CON ACENTUACIÓN EN ALIMENTOS**

Julio, 2014

EVALUACIÓN DEL USO DE *Quercus rugosa* Née Y *Quercus resinosa* Liebm. EN LA ALIMENTACIÓN DE PEQUEÑOS

RUMIANTES

Comité de Tesis

Ph.D. ROQUE GONZALO RAMÍREZ LOZANO

Director

DR. JAIRO IVÁN AGUILERA SOTO

Director externo

DRA. MARÍA ADRIANA NÚÑEZ GONZÁLEZ

Asesor

DR. CARLOS ABEL AMAYA GUERRA

Asesor

DR. JUAN GABRIEL BÁEZ GONZÁLEZ

Asesor

EVALUACIÓN DEL USO DE *Quercus rugosa* Née Y *Quercus resinosa* Liebm. EN LA ALIMENTACIÓN DE PEQUEÑOS RUMIANTES

Comité Académico de Doctorado

Subdirector de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres José Félix Carrillo Lamas y Ma. Consuelo Muro Saldaña por su amor, y su ejemplo de fortaleza y superación. Además, por la gran ayuda que me brindaron para realizar mis proyectos del doctorado.

Al Ph. D. Roque Gonzalo Ramírez Lozano por la confianza que tuvo en mí para realizar mis estudios de doctorado y por toda la formación desinteresada y paciencia que me dio. También le agradezco por ser un ejemplo a seguir como persona y como investigador.

Al Dr. Jairo Iván Aguilera Soto por haberme guiado y apoyado a seguir con mis estudios de doctorado.

A mis asesores Dra. María Adriana Núñez González, Dr. Carlos Abel Amaya Guerra y Dr. Juan Gabriel Báez González, por haber revisando y evaluando el desarrollo de esta investigación, y la culminación con la elaboración de la tesis y examen de grado.

A Alejandro Rivera Villegas y Pedro Hernández Briano por el gran apoyo como amigos y como MVZ's en la realización y finalización de este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y a sus profesores, por darme la satisfacción de egresar de esta gran Universidad.

A la Universidad Autónoma de Zacatecas y a sus docentes, por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto de investigación, en sus instalaciones.

Al CONACYT por el apoyo económico y el compromiso con los jóvenes en su superación profesional, para el desarrollo de la ciencia y de México.

DEDICATORIA

A mi hijo José Félix Carrillo Jara, te dedico este trabajo, porque todo lo realice con la finalidad de superarme, y tener un futuro mejor los dos. Te pido disculpas y comprensión, por todo el tiempo que le dedique al doctorado, sacrificando parte de la convivencia contigo.

A mi hermano Héctor, porque a partir de platicas contigo y mis papás nace este proyecto, por el apoyo y compañía que me has dado siempre.

A mi hermano Félix, a Victoria Carrillo Jara y a Sahara Jara de Santiago, por el gran apoyo y cariño que siempre me han dado, porque a ustedes también les toco trabajar en la realización de este proyecto.

A Casandra Casas Gómez por toda la paciencia y apoyo que me tuviste durante esta etapa de mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	5
Objetivos.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Hipótesis.....	8
 CAPÍTULO 1	
1. CARACTERÍSTICAS Y USOS DE <i>QUERCUS</i> , Y EFECTOS DE LOS TANINOS EN LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL	
1.1 Clasificación taxonómica de las fagáceas de México.....	9
1.2 Distribución del género <i>Quercus</i>	9
1.3 Tipos de suelos y condiciones de crecimiento para <i>Quercus</i>	10
1.4 Tipos de climas para <i>Quercus</i>	11
1.5 Fisionomía y estructura de <i>Quercus</i>	11
1.5.1 Tronco.....	11
1.5.2 Hojas.....	12
1.5.3 Flores.....	13
1.5.4 Fruto.....	14
1.6 Composición nutrimental y degradabilidad de <i>Quercus</i>	14
1.6.1 Hojas.....	14
1.6.2 Bellotas.....	17
1.7 Usos de <i>Quercus</i> en la alimentación animal.....	17
1.8 Metabolitos secundarios de las plantas.....	19
1.9 Taninos.....	21
1.9.1 Taninos hidrolizables.....	21
1.9.2 Taninos condensados.....	22
1.9.3 Propiedades químicas.....	22
1.9.4 Localización en la planta.....	24
1.9.5 Función de los taninos en la planta.....	24
1.9.6 Distribución de los taninos en la naturaleza.....	24
1.10 Tratamientos para evitar los efectos de los taninos.....	25
1.10.1 Dosis.....	26
1.10.2 Efecto.....	27
1.11 Efecto de los taninos en la digestión de nutrimentos y función ruminal.....	29
1.11.1 Asociación con biomoléculas.....	29
1.11.2 Privación del sustrato.....	29
1.11.3 Inhibición enzimática.....	30
1.11.4 Efecto directo sobre los microorganismos ruminales.....	30

1.11.5 Degradabilidad de la proteína.....	31
1.11.6 Flujo y absorción de aminoácidos.....	32
1.11.7 Amoníaco ruminal.....	32
1.11.8 Degradabilidad de la fibra.....	33
1.11.9 Degradabilidad de carbohidratos.....	34
1.11.10 Producción de metano.....	34
1.11.11 Efectos post-ruminales de los taninos.....	34
1.12 Efecto de los taninos en el comportamiento productivo de rumiantes.....	36
1.12.1 Consumo voluntario.....	36
1.12.2 Disminución de la palatabilidad.....	38
1.12.3 Enlentecimiento de la digestión de la MS en el rumen.....	38
1.12.4 Desarrollo de aversión condicionada.....	38
1.12.5 Ganancia diaria de peso.....	39
1.12.6 Producción de lana.....	39
1.12.7 Eficiencia reproductiva.....	40
1.12.8 Efecto de los taninos en la producción y características de la leche.....	41
1.12.8.1 Producción.....	41
1.12.8.2 Concentración de grasa.....	42
1.12.8.3 Concentración de urea.....	42
1.12.8.4 Composición de ácidos grasos.....	42
1.13 Efecto de los taninos en la calidad y características de la canal....	43
1.13.1 Grasa de la canal.....	43
1.13.2 Color de la carne.....	44
1.13.3 Composición de ácidos grasos.....	45
1.13.4 Sabor de la carne.....	46
1.13.5 Olor de la carne.....	47
1.13.6 Efecto de los taninos en la salud animal.....	47
1.13.6.1 Efecto antimicrobial.....	47
1.13.6.2 Control de parásitos internos.....	49
1.13.6.3 Prevención del timpanismo.....	50
1.13.6.4 Cicatrización de heridas.....	51
1.13.6.5 Toxicidad.....	52
1.14 Literatura citada.....	53

CAPÍTULO 2.

EXPERIMENTO 1. PERFIL QUÍMICO Y DIGESTIÓN DEL FOLLAJE DE *Quercus resinosa* Liebm. Y SU EFECTO EN EL CONSUMO Y PALATABILIDAD POR OVINOS

Resumen.....	60
1. Introducción.....	70
2. Métodos.....	73

2.1 Área de estudio.....	73
2.2 Efecto del periodo de recolección del follaje de <i>Quercus</i>	74
2.2.1 Análisis químicos.....	74
2.2.2 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta	75
2.2.3 Dinámica de degradabilidad <i>in situ</i>	77
2.3 Consumo y palatabilidad.....	78
2.3.1 Prueba 1: niveles de inclusión de <i>Q. resinosa</i>	78
2.3.2 Prueba 2: fechas de colecta de <i>Q. resinosa</i>	79
2.4 Análisis estadísticos.....	81
3. Resultados y discusión.....	81
3.1 Perfil químico de las hojas.....	81
3.2 Dinámica de degradabilidad.....	83
3.3 Consumo y palatabilidad.....	85
4. Conclusiones.....	88
Reconocimientos.....	88
Referencias.....	89

CAPÍTULO 3.

EXPERIMENTO 2. EFECTO DEL RELIEVE Y TIEMPO DE RECOLECCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA, DEGRADABILIDAD *IN VITRO*, CONSUMO Y PALATABILIDAD DE BIOMASA DE *Quercus rugosa* Née POR OVINOS

Resumen.....	95
1. Introducción.....	96
2. Métodos.....	99
2.1 Área de estudio.....	99
2.2 Efecto del relieve en el rendimiento y costo de recolección de biomasa de <i>Quercus</i>	100
2.2.1 Productividad de MS.....	101
2.2.2 Rendimiento de la recolección.....	101
2.2.3 Costos de recolección.....	101
2.2.4 Costos de recolección y molido.....	102
2.3 Efecto del periodo de recolección en la productividad de MS de <i>Quercus</i>	102
2.3.1 Producción de MS.....	103
2.3.2 Análisis químicos.....	103
2.3.3 Determinación de la producción de gas <i>in vitro</i>	104
2.3.3.1 Dinámica de degradabilidad.....	105
2.3.3.2 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta	106
2.4 Consumo y palatabilidad.....	106

2.4.1 Elaboración de tratamientos.....	107
2.4.2 Mediciones.....	108
2.4.2.1 Consumo de MS.....	108
2.4.2.2 Coeficiente de consumo calculado.....	108
2.4.2.3 Coeficiente de tiempo efectivo de consumo calculado.....	109
2.4.2.4 Coeficiente de preferencia de consumo calculado.....	109
2.4.2.5 Índice relativo de palatabilidad.....	109
2.5 Análisis estadísticos.....	109
3. Resultados y discusión.....	110
3.1 Efecto del relieve en el rendimiento y costo de recolección de biomasa de <i>Quercus</i>	110
3.2 Efecto del periodo de recolección en la producción de biomasa de <i>Quercus</i>	111
3.2.1 Producción de biomasa.....	111
3.2.2 Composición química de las hojas.....	112
3.2.3 Dinámica de degradabilidad.....	114
3.3 Consumo y palatabilidad.....	115
4. Conclusiones.....	117
Reconocimientos.....	117
Referencias.....	117

CAPÍTULO 4.

EXPERIMENTO 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DEGRADABILIDAD *IN SITU* DE LAS HOJAS DE *Quercus rugosa* Née TRATADAS CON UREA Y MELAZAS

Resumen.....	126
1. Introducción.....	127
2. Métodos.....	129
2.1 Área de estudio.....	129
2.2 Recolección y procesado de las hojas.....	130
2.3 Aplicación de urea y melazas a las hojas.....	131
2.3.1 Tratamientos.....	131
2.3.2 Mezclado de ingredientes.....	131
2.4 Análisis químicos.....	132
2.5 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta	132
2.6 Dinámica de degradabilidad <i>in situ</i>	135
2.7 Análisis estadísticos.....	135
3. Resultados y discusión.....	136
3.1 Composición química de las hojas.....	136
3.2 Dinámica de degradabilidad.....	138
4. Conclusiones.....	142

Reconocimientos.....	142
Referencias.....	142
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES GENERALES.....	148
CAPÍTULO 6	
RESUMEN CURRICULAR.....	150

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1.1	Composición química y degradabilidad ruminal de diferentes especies del género <i>Quercus</i>	15
1.2	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>L. pedunculatus</i> , en el metabolismo y digestión del nitrógeno, en ovinos.....	31
1.3	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>L. pedunculatus</i> , en el consumo de materia seca (MS) y ganancia diaria de peso (GDP) de ovinos.....	37
1.4	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>L. pedunculatus</i> , en el crecimiento de lana y la ovulación múltiple de ovinos.....	40
1.5	Efecto de los taninos de <i>Hedysarum coronarium</i> en la producción y composición nutrimental de leche de oveja.....	41
1.6	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> en la producción y composición nutrimental de leche de vaca.....	42
1.7	Efecto de los taninos de diferentes plantas en el rendimiento y características de la canal, y concentración de la Hormona del Crecimiento de ovinos.....	43
1.8	Efecto de los taninos de <i>Ceratonia siliqua</i> en la composición de ácidos grasos intramusculares de ovinos de engorda.....	46
1.9	Efecto de taninos condensados purificados de diferentes especies de <i>Quercus</i> sobre bacterias patógenas de la mastitis....	48
1.10	Actividad antibacteriana de los taninos de <i>Solanum trilobatum</i> ...	49
1.11	Efecto de extracto de <i>Quercus infectoria</i> en el nivel de enzimas antioxidantes en el tejido granular.....	51
1.12	Efecto de extracto de <i>Quercus infectoria</i> en el período de epitelización.....	52
2.1	Ingredientes y composición química de la dieta basal.....	79
2.2	Medias de la dinámica de la composición química de la materia seca (MS) de <i>Quercus resinosa</i> Liebm.....	82
2.3	Parámetros de la degradabilidad <i>in situ</i> de la materia seca y degradabilidad efectiva (DEMS) de <i>Quercus resinosa</i> Liebm...	84

2.4	Consumo y palatabilidad de diferentes niveles materia seca de <i>Quercus resinosa</i> Liebm. incluida en dietas de engorda de machos ovinos.....	86
2.5	Coefficiente de preferencia a diferentes niveles materia seca de <i>Quercus resinosa</i> Liebm. incluida en dietas de engorda de machos ovinos.....	86
2.6	Consumo y palatabilidad de materia seca de <i>Quercus resinosa</i> Liebm. recolectada en diferentes temporadas e incluida en dietas de engorda de machos ovinos.....	87
2.7	Coefficiente de preferencia de materia seca de <i>Quercus resinosa</i> Liebm. recolectada en diferentes temporadas, incluida en dietas de engorda de machos ovinos.....	87
3.1	Ingredientes y composición química de la dieta basal.....	107
3.2	Productividad (materia seca, MS) y costos en moneda nacional (mn) de cosecha de biomasa de <i>Quercus rugosa</i> Née en diferentes relieves.....	111
3.3	Medias de la composición química de la materia seca (MS) de <i>Quercus rugosa</i> Née en diferentes periodos de recolección.....	113
3.4	Degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DMO), parámetros de la degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (MS) y degradabilidad efectiva de la MS de <i>Quercus rugosa</i> Née en diferentes periodos de recolección.....	114
3.5	Consumo y palatabilidad de diferentes niveles de materia seca de <i>Quercus rugosa</i> Née en dietas de mantenimiento de hembras ovinas.....	116
4.1	Valor nutricional de biomasa de <i>Quercus rugosa</i> Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.....	137
4.2	Cinética de la degradabilidad <i>in situ</i> de la materia seca de biomasa de <i>Quercus rugosa</i> Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Dinámica de la degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO) de follaje de <i>Quercus resinosa</i> Liebm.....	84
3.1	Evolución de la producción de materia seca de <i>Quercus rugosa</i> Née en diferentes recolecciones.....	112
4.1	Degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO) de biomasa de <i>Quercus rugosa</i> Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.....	139

Resumen

Los objetivos de la presente investigación fueron evaluar la composición química y degradabilidad de follaje de *Quercus resinosa* Liebm. y *Quercus rugosa* Née, y sus efectos de su inclusión en dietas de ovinos, sobre el consumo y palatabilidad; para lo cual se realizaron tres experimentos. La colecta de hojas se realizó durante dos años consecutivos (2011 y 2012) en tres sitios: el sitio 1 se ubicó en el municipio de Tequila, Jalisco, México; el sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México; y el sitio 3 se situó en el municipio de San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México. En el experimento 1 se determinó el valor nutritivo de las hojas de *Q. resinosa* Liebm. y sus efectos, por la época de corte y niveles de inclusión en dietas para ovinos de engorda. En el experimento 2 se determinó el efecto del tiempo de la recolección de las hojas de *Q. rugosa* y tres relieves (barranca, lomerío y meseta), sobre el rendimiento y costos de recolección. En el experimento 3 se determinó el efecto del uso de urea (0, 2, 4 y 6%) y melazas (0, 15, 30, 45%) en las hojas de *Q. rugosa*, sobre la composición química y degradabilidad *in situ* de la materia seca. Los resultados del experimento 1 muestran que los contenidos de materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), carbohidratos no fibrosos (CNF), extracto etéreo (EE), energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (ENI), ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés), taninos condensados (TC); degradabilidad *in vitro* de la MO (DMO) y los parámetros de degradabilidad *in situ* de las hojas de *Q. resinosa* fueron más elevados en las hojas jóvenes que en las maduras. Sin embargo, la FDN y FDA fueron más bajas en las hojas jóvenes que en las maduras. Además, los ovinos pueden consumir hasta un 40% de *Q. resinosa* en sus dietas sin afectar su palatabilidad, acentuándose la preferencia por las hojas

colectadas en primavera. Los resultados del experimento 2 muestran que las hojas de *Q. rugosa* se colectaron en mayor cantidad y a menor costo en meseta que en lomerío o en barranca. Además, la composición nutricional y la DMO de las muestras, no fueron diferentes ($P>0.05$) entre periodos de colecta. Sin embargo, los parámetros de la producción de gas *in vitro* (a, b, c, a+b) y la degradabilidad efectiva de la MS fueron más elevados en las colectas del mes de abril que las de marzo. Los resultados del experimento 3 muestran que, en general, los contenidos de MO, FDN y FDA disminuyeron conforme se aumentaron los niveles de melaza en las mezclas. Sin embargo, la PC, CNF, cenizas, EM, ENI y SCFA tuvieron un comportamiento contrario. La DMO se elevó a medida que se aumentaba la inclusión de melazas. La fracción **a**, en todas las mezclas con melazas, fue más elevada con urea al 6% comparada con los otros porcentajes de urea. Sin embargo, la fracción lentamente degradable **b**, en general, fue mayor al 4% de urea. La constante de degradación **c** fue variable en todos los tratamientos. La degradabilidad potencial (**a+b**) tuvo un comportamiento similar a la fracción **a**. En todas las mezclas con melazas, la adición de urea al 4 o 6% tuvieron una mayor composición química y degradabilidad *in situ*. Las hojas de *Q. rugosa* pueden ser incluidas en dietas de ovinos para mantenimiento hasta en un 30%, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo voluntario.

Abstract

The objectives of this research were to evaluate the chemical composition and degradability *Quercus resinosa* Liebm. foliage and *Quercus rugosa* Nee, and for inclusion in diets of sheep, consumption and palatability; for which three experiments. The collection of leaves was conducted for two consecutive years (2011

and 2012) at three sites: site 1 was located in the town of Tequila, Jalisco, Mexico; Site 2 was located in the town of Teul Gonzalez Ortega, Zacatecas, Mexico; and site 3 was located in the town of San Cristobal de la Barranca, Jalisco, Mexico. In experiment 1, the nutritional value of the leaves and their effects *Q. resinosa* was determined by cutting the time and inclusion levels in diets for fattening sheep. In experiment 2 the effect of time of harvest leaves *Q. rugosa* and three relief (canyon, hillocks or plateau) on the performance and costs of collection was determined. In experiment 3 the effect of using urea (0, 2, 4 and 6%) and molasses (0, 15, 30 and 45%) *Q. rugosa* leaves was determined, on the chemical composition and degradability *in situ* dry matter (DM). The results of experiment 1 show that the content of organic matter (OM), crude protein (CP), non fibrous carbohydrates (NFC), ether extract (EE), metabolizable energy (ME), net energy for lactation (NEL), acids short chain fatty (SCFA), condensed tannins (CT); *in vitro* degradability of OM (DMO) and *in situ* degradability parameters of *Q. resinosa* leaves were higher in young leaves than in mature. However, NDF and ADF was lower in young leaves than in mature. In addition, sheep can consume up to 40% of *Q. resinosa* in their diets without affecting palatability, accentuating the preference for leaves collected in spring. The results of experiment 2 show that the leaves of *Q. rugosa* were collected in larger quantities and at lower cost than in hillocks or plateau in canyon. In addition, the nutritional composition and DOM of the samples were not different ($P > 0.05$) between collection periods. However, the parameters of the gas production *in vitro* (a, b, c, a + b) and effective degradation of DM were higher in the collections of April than March. The results of Experiment 3 show that, in general, the contents of OM, NDF and ADF decreased as molasses levels were increased in the mixtures.

However, the CP, NFC, ash, ME, and SCFA NEI had an opposite behavior. The DOM was raised as the inclusion of molasses increased. Fraction **a**, in all blends with molasses, urea was higher by 6% as compared to the other levels of urea. However, the slowly degradable fraction **b**, in general, was higher than 4% of urea. Degradation constant **c** was variable for all treatments. The potential degradability (a + b) had a similar pattern to the fraction **a**. In all mixture with molasses, urea addition to 4 or 6% had a higher chemical composition and *in situ* degradability. *Q. rugosa* leaves can be included in diets of sheep for maintenance by up to 30%, without having negative effects on palatability and voluntary intake.

Introducción

El follaje de los árboles y arbustos es de gran importancia en la alimentación animal porque no compite con la alimentación humana y puede proporcionar una gran cantidad de nutrientes durante todo el año (Makkar, 2003). En las zonas áridas, donde el crecimiento de las plantas está limitado por la falta de humedad, las hojas y ramas comestibles de los árboles y arbustos pueden constituir más del 50% de la producción de biomasa de los pastizales. Incluso en las regiones de mayor precipitación, donde los pastos proporcionan la mayor parte del alimento, las hojas y frutas de los árboles pueden formar una parte importante de la dieta, especialmente para pequeños rumiantes (Paterson, 1993).

La utilización del follaje de árboles durante la época crítica de alimentación de herbívoros es una práctica que realizan muchos pequeños productores de especies domésticas como los equinos, bovinos y ovinos. Esta práctica disminuye el efecto negativo que provoca la ganadería sobre el ecosistema, mediante la fijación y reciclado de nutrientes, disminución de la erosión, entre otros (Naranjo, 2003).

El follaje de *Quercus* spp. se podría utilizar como alimento, ya que presenta características como presencia de follaje durante la mayor parte del año y biomasa durante la época seca y los compuestos secundarios los contiene en cantidades moderadas presentando efectos benéficos en los animales. Además, son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México; ya que ocupan el 5.5% de la superficie del país (De la Paz *et al.*, 1998). Se estima que en el mundo hay de 400 a 500 especies aproximadamente, encontrándose en México 161, las cuales representan del 32.2 al 40.2% en el mundo y el 68.8% en América (Valencia, 2004).

Sin embargo, este género tiene un uso y aprovechamiento irracional, debido, en gran parte, a que existe un gran desconocimiento de las posibilidades de su correcta utilización, de modo que los propietarios no explotan estos bosques con provecho y por ende no tienen interés en mantenerlos y conservarlos en buenas condiciones. Esto ha conllevado a que grandes extensiones de *Quercus* sean sometidas a la acción periódica del fuego, con el objeto de convertir estas áreas en pastizales, que son más útiles para aprovechamientos ganaderos que el bosque clímax mismo y por consiguiente el hombre procura no crear las condiciones propicias para su restablecimiento (Rzedowski, 2006). Sin embargo, lo que sobreviene, es que los terrenos de esta manera degradados y constantemente sometidos a pastoreo intenso pierden la capacidad de absorber y almacenar eficientemente el agua de la lluvia; el escurrimiento predomina sobre la infiltración y comienza a desencadenarse una rápida erosión del suelo (CONABIO, 2010).

Por consiguiente, se hace necesario, buscar la conservación de todos aquellos encinares, donde su presencia es necesaria para preservar el equilibrio ecológico de cuencas. Para lograrlo, abrimos una línea de investigación tendiente a encontrar más y mejores posibilidades de utilización de *Quercus*, con lo cual se pretende lograr que los propietarios puedan explotar estos bosques con provecho y por ende tengan interés en mantenerlos y conservarlos en buenas condiciones.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la composición química y degradabilidad de follaje de *Quercus resinosa* Liebm. y biomasa de *Quercus rugosa* Née, y sus efectos de inclusión en dietas de ovinos, sobre el consumo y palatabilidad.

Objetivos específicos

- Analizar el perfil químico, degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica, parámetros de degradabilidad *in situ* y degradabilidad efectiva de la materia seca del follaje de *Q. resinosa* Liebm.
- Determinar los efectos de las épocas de colecta y niveles de inclusión del follaje de *Q. resinosa* Liebm. en las dietas para de ovinos machos en engorda, sobre el consumo de materia seca y palatabilidad.
- Analizar los efectos de la época y los relieves (meseta, lomerío y barranca) sobre el rendimiento y costos de colecta de biomasa de *Q. rugosa* Née.
- Determinar el efecto del tiempo de cosecha de biomasa de *Q. rugosa* Née, sobre la composición química, degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y parámetros de la producción de gas *in vitro*.
- Estimar el efecto de diferentes niveles de inclusión de hojas de *Q. rugosa* Née en dietas de mantenimiento de ovinos hembras sobre el consumo y palatabilidad.
- Comparar el efecto de la inclusión de urea (0, 2, 4 y 6%) y melazas (0, 15, 30 y 45%) a biomasa de *Q. rugosa* Née, sobre la composición química,

degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y parámetros de degradabilidad *in situ*.

Hipótesis

- La composición química y degradabilidad de follaje y biomasa de *Quercus* se encuentra influenciada por la temporada de cosecha.
- El relieve afecta el rendimiento y costos de recolección de la biomasa de *Q. rugosa* Née.
- La temporada y nivel de inclusión de follaje y biomasa de *Q. resinosa* Liebm en dietas ovinos influye sobre su consumo y palatabilidad.
- La inclusión de urea y melazas a biomasa de *Q. rugosa* Née, presenta un efecto positivo sobre la composición química, degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y parámetros de degradabilidad *in situ*.

CAPÍTULO 1.

1. CARACTERÍSTICAS Y USOS DE *QUERCUS*, Y EFECTOS DE LOS TANINOS EN LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

1.1 Clasificación taxonómica de las fagáceas de México

Nixon (1993) menciona que las fagáceas de México, pertenecen al reino plantae, a la división Magnoliophyta, a la clase Magnoliopsida, al orden Fagales y a la Familia Fagaceae. Esta familia presenta 2 géneros; el *Fagus* (las especies *F. grandifolia* y *F. grandifolia subsp. mexicana*) y el género *Quercus*. Este último tiene 3 subgéneros: el *Lobatae*, el *Protobalanus* y el *Quercus*.

El vocablo “*Quercus*”, que nomina este género de las Fagáceas, proviene de la unión de dos vocablos celtas. Por un lado “*Quer*” (=bello) y por otro “*cuez*” (=árbol): “árbol hermoso”, y así pasó a los romanos, que de forma indistinta llamaban a robles y encinos “*quercus*” (Sánchez, 2002).

1.2 Distribución del género *Quercus*

Los encinos o robles se encuentran en casi todos los bosques templados del Hemisferio Norte (Kaul, 1985), así como algunas regiones tropicales y subtropicales del mismo. Incluso existen algunas especies en hábitats más secos, en el Sureste de Asia y Nororiente de África. En América se localiza desde Canadá hasta Colombia, incluyendo Cuba. Reconociéndose así, dos centros de diversidad para el género. El primero se localiza en el Sureste de Asia con alrededor de 125 especies. El segundo se presenta en México, particularmente en las regiones montañosas, en donde forman parte de los bosques templados (Valencia y Flores-Franco, 2006).

Valencia (2004) menciona que la riqueza específica total para el género *Quercus*, en el mundo, es difícil de precisar y que algunos autores la estiman desde alrededor de 300 hasta 600. Asimismo, el número de especies para México tampoco se conoce con exactitud, pero se calcula que son 161, ubicadas en tres subgéneros: 76 en *Lobatae* (encinos rojos), 81 en *Quercus* (encinos blancos) y 4 especies en *Protobalanus* (encinos intermediarios). Se calcula que 109 especies son endémicas del país (representa el 67.7%), de las cuales 61 pertenecen al subgénero *Lobatae*, 47 al *Quercus* y una a *Protobalanus*. México comparte con Estados Unidos 33 especies del género, mientras que con Centroamérica comparte 20. Los estados con mayor diversidad de especies son Oaxaca con 48, Nuevo León con 47, Jalisco con 45, Chihuahua con 40 y Veracruz con 38. En contraste, los que tienen menos diversidad son los estados de Campeche, Yucatán y Tabasco. En Quintana Roo no se desarrolla ninguna especie. Las especies con distribución más amplia en nuestro país son *Q. candicans*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. laeta*, *Q. microphylla*, *Q. obtusata* y *Q. rugosa*. Altitudinalmente las especies de *Quercus* se desarrollan entre 0 y 3,500 m, pero son más frecuentes entre 1,000 y 3,000 m.

1.3 Tipos de suelos y condiciones de crecimiento para *Quercus*

Este tipo de vegetación se ha observado sobre diversas clases de roca madre, tanto ígneas, como sedimentarias y metamórficas, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos. No tolera, aparentemente, deficiencias de drenaje, aunque puede crecer a orillas de arroyos en tierra permanentemente húmeda. No es rara su presencia en suelos someros de terrenos muy rocosos e inclinados o de pedregales. Típicamente el suelo es de reacción ácida moderada (pH 5.5 a 6.5), con abundante

hojarasca y materia orgánica (MO) en el horizonte superficial y a menudo también a mayor profundidad. La textura varía de arcilla a arena al igual que la coloración que frecuentemente es roja, aunque puede ser amarilla, negra, café o gris (Encina Domínguez *et al.*, 2009).

1.4 Tipos de climas para *Quercus*

Rzedowski (1978) menciona que los encinares arbóreos de México prosperan típicamente en condiciones de clima templado húmedo con estación invernal seca (Cw) de la clasificación de Köppen, pero también se extienden hacia templado húmedo sin estación seca (Cf), templado húmedo con veranos secos (Cs), selva tropical lluviosa (Af), monzónico (Am), sabana tropical (Aw) y estepa (Bs). La precipitación media anual varía de 350 mm a más de 2,000 mm, pero la distribución de la gran mayoría de los encinares se halla entre 600 y 1,200 mm. Las temperaturas medias anuales tienen una amplitud global de 10 a 26 °C y más frecuentemente de 12 a 20°C.

1.5 Fisionomía y estructura de *Quercus*

Los encinos se presentan desde zonas con climas xéricos siendo su hábito de crecimiento usualmente arbustivo, formando matorrales densos, hasta regiones con condiciones méxicas, donde se desarrollan en forma arbórea, originando así comunidades boscosas (Encina y Villarreal, 2002).

1.5.1 Tronco

Los caracteres principales que se emplean para distinguir los arbustos de los árboles son la estatura y la forma de ramificación, sin embargo, estos dos rasgos no

siempre van unidos de manera perfecta en el caso de los encinos (como tampoco en muchos otros casos) y no son raras las poblaciones de individuos que miden 4 ó 5 m, pero carecen de tronco único bien definido, mientras que otros que sólo tienen 2 ó 2.5 m de alto pueden presentar un eje claro de ramificación primaria. Se ha observado que una determinada especie de *Quercus* puede comportarse tanto como planta arbórea, como arbustiva. En general, los bosques de encino son comunidades cuya altura varía entre 2 y 30 m, alcanzando en ocasiones hasta 50, generalmente son formaciones de tipo cerrado o bastante densas; pero también los hay abiertos y muy abiertos, separados por amplios espacios cubiertos sólo por plantas herbáceas o arbustivas (Rzedowski, 2006).

1.5.2 Hojas

Se observa que los bosques de *Quercus* que habitan áreas más secas presentan a menudo hojas chicas, mientras en los encinares de climas húmedos abundan especies con hojas relativamente grandes, aunque los mayores tamaños foliares se presentan en algunos encinos que pueden calificar como propios de condiciones climáticas intermedias a más bien algo secas, como es el caso de *Q. magnoliifolia*, *Q. resinosa* y *Q. urbanii* (Rzedowski *et al.*, 2005).

Otros caracteres del follaje de *Quercus* a los que se le atribuye significado ecológico son su grosor y rigidez, rasgos que generalmente van unidos y que guardan ciertas correlaciones con el clima. La mayor parte de los encinos mexicanos tiene hoja gruesa y dura y las plantas califican como esclerófilas, lo que no ocurre en muchas de las especies de clima húmedo, por lo que cabe pensar que tales caracteres

desempeñan un papel importante en la resistencia a la sequía que afecta estas plantas durante largos meses (Rzedowski, 2006).

Arizaga *et al.* (2009) mencionan que una peculiaridad de los encinos es el patrón en la duración de las hojas. En los encinos perennifolios, el follaje siempre se mantiene verde, y se va sustituyendo de manera paulatina. Por el contrario, los encinos caducifolios pierden la totalidad de sus hojas durante la estación de sequía. En el renuevo de las hojas se muestran colores vívidos que van del naranja al rojo carmesí. Las hojas se caracterizan por tener diferentes tipos de ápice (punta de la hoja), base de la hoja, número de nervaduras, margen (o borde de la hoja), textura, tamaños y colores, propiedades morfológicas que son empleadas en la taxonomía para su clasificación científica.

1.5.3 Flores

Un mismo individuo es hermafrodita, porque posee tanto flores masculinas como femeninas. Las flores son de tamaño relativamente muy pequeño, promediando 1 o 2 mm de diámetro. Las flores masculinas forman agrupaciones colgantes conocidas como amentos, y cada flor puede tener de 6 a 12 estambres; debido a la gran cantidad de flores masculinas que se desarrollan entre las ramas, los amentos son muy evidentes en la naturaleza. Las flores femeninas, en cambio, son solitarias o están en pequeños grupos, y por su tamaño son imperceptibles a simple vista. Ambos tipos de flores pueden durar hasta un mes en el árbol. El transporte de polen entre las flores masculinas y femeninas es realizado por el viento (polinización anemófila). El resultado es la formación de frutos comúnmente llamados bellotas y que contienen en su interior por lo general una sola semilla (Arizaga *et al.*, 2009).

1.5.4 Fruto

Están cubiertos en su base de unión con la rama por una estructura leñosa y de forma cóncava, conocida como cúpula. Dependiendo de la especie, las bellotas se producen cada año o cada dos años, y tienen una forma ovoide. Las bellotas son verdes cuando están inmaduras y se tornan de color café una vez que maduran (Arizaga *et al.*, 2009). Son de gran tamaño, con abundantes sustancias de reserva y alto valor nutritivo, suponen una fuente importante de alimento para muchos consumidores como: jabalí, ganado doméstico y diversas aves (González, 2010). Su peso, tamaño y forma presenta muchas variaciones entre especies, individuos y zonas, al igual que la composición que además, está sometida a variaciones derivadas de su propio proceso de maduración y de la actuación de agentes externos (humedad, parásitos, etc.) (Rodríguez-Estévez *et al.*, 2008).

1.6 Composición nutrimental y degradabilidad de *Quercus*

1.6.1 Hojas

Paterson (1993) señala que las hojas de *Quercus* contienen niveles relativamente altos de taninos y no son muy digestibles, pero a menudo están disponibles en épocas del año cuando otros forrajes son escasos. Su contenido de proteína cruda (PC) es razonable y puede ser un complemento útil para pastoreo de mala calidad o dietas basadas en paja de cereales (Tabla 1.1). Sin embargo, esta composición nutrimental varía a lo largo de los diferentes meses del año (Peinado *et al.*, 1978).

Tabla 1.1. Composición química y degradabilidad ruminal de diferentes especies del género *Quercus*.

Conceptos	<i>Q. ilex</i>		<i>Q. peduncularis</i>	<i>Q. incana</i>	<i>Q. persica</i>	<i>Q. infectoria</i>	<i>Q. libani</i>	<i>Q. gambelii</i>		<i>Q. pyrenaica</i>
	Primavera	Verano						Inmaduro	Maduro	
Materia seca, %	52.1	53.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Proteína cruda, %	10.0	8.6	11.7	11.4	11.5	9.2	12.3	-	-	18.4
Extracto etéreo, %	1.7	1.7	-	5.4	-	-	-	-	-	-
Fibra cruda, %	-	-	-	36.7	-	-	-	-	-	-
Extracto libre de N, %	-	-	-	41.7	-	-	-	-	-	-
Cenizas, %	4.8	4.8	-	4.8	-	-	-	-	-	-
Energía bruta, cal/Kg ⁻¹ MS	-	-	4.8	-	-	-	-	4.8	5.00	-
Fibra detergente neutro, %	58.9	59.8	51.1	-	53.2	54.0	51.2	-	-	35.4
Fibra detergente ácido, %	42.4	42.8	41.1	-	31.7	30.0	33.1	28.9	31.7	14.6
Lignina, %	-	-	-	-	9.8	10.3	9.5	10.2	11.2	-
Contenido celular, %	-	-	-	-	-	-	-	65.2	64.3	-
Taninos totales, %	-	-	-	4.1	7.3	10.9	10.0	11.1	8.7	-
Taninos hidrolizables, %	-	-	-	-	4.6	8.7	6.2	-	-	-
Taninos condensados, %	-	-	27.7	-	1.4	1.5	1.2	-	-	-
Degradabilidad Efectiva, %	-	-	-	-	30.0	27.7	27.5	-	-	-
Referencias	Infascelli <i>et al.</i> , 2007		Pinto-Ruiz <i>et al.</i> , 2010	Makkar <i>et al.</i> , 1988	Yousef, 2010			Nastis y Malechek, 1981		Rodríguez, 2010

Forwood y Owensby (1985) mencionan que la degradabilidad *in vitro* promedio de la MS de *Q. macrocarpa* es de 36.9% desde mediados de septiembre a finales de octubre y es un poco mejor para un híbrido de esta misma especie con 42.67% (similar a la de *Q. alba*). En general, Paterson (1993) señala que la degradabilidad *in vivo* de una gama de especies del genero *Quercus* de Europa y América del Norte parecen estar en un rango de 47 a 49% en cabras, y podría elevarse del 4-9% si se incluye en la dieta forrajes de alta calidad como la alfalfa (*Medicago sativa*) o frijol de soya. Cuando se suministra *Q. calliprinos* como único componente de la dieta a cabras adultas preñadas es ligeramente deficiente en PC, pero proporciona suficiente energía para mantenimiento.

La mala degradabilidad del follaje de *Quercus* se atribuye generalmente al alto contenido de taninos que se encuentra en todas las especies. Nastis y Malechek (1981) observaron que hojas inmaduras de *Q. gambelii* contenían 11.1% de taninos y 8.7% las maduras, mientras que Holechek *et al.* (1990) mencionan que *Q. grisea* contenía 7.9% y 5.4%, respectivamente. De un único árbol de *Q. robur* L. se encontró que el contenido de taninos totales aumentó de menos de 1% a comienzos de primavera a 5% a finales del verano. En cambio, se observó una mayor cantidad de fenoles totales en hojas jóvenes de *Q. gambelii* (Nastis y Malechek, 1981).

Por otro lado, Batos *et al.* (2010) realizaron una investigación con el objetivo de analizar el efecto del tipo de suelo y la localización geográfica, en el contenido de macroelementos de hojas de *Q. robur* L., observándose que no existe variabilidad individual entre los árboles, en cuanto a estos dos factores, mientras que la localización si influyó significativamente. Por lo cual concluyeron, que la

variabilidad del contenido de macroelementos en las hojas resulta, principalmente, de la influencia ambiental.

1.6.2 Bellotas

Tejerina *et al.* (2010) analizaron bellotas de *Q. rotundifolia* Lam. por tres años en la misma temporada y observaron que existe variabilidad en cuanto a la condición sanitaria y la composición nutrimental, pero no en lo que respecta a las características morfológicas (porcentaje de cáscara y cotiledones). En cuanto a esto último, Kilic *et al.* (2010) y Rodríguez-Estévez *et al.* (2008) coinciden, y además mencionan que la cáscara es rica en taninos y lignina, lo que afecta a su degradabilidad. La pulpa es muy rica en glúcidos (80% de la MS) y en lípidos (5-10% de la MS) con un contenido de ácido oleico superior al 60%, sin embargo el contenido de PC es muy bajo (4-6% de la MS).

1.7 Usos de *Quercus* en la alimentación animal

Paterson (1993) menciona que las hojas y bellotas de muchas especies del género *Quercus* son comidas ávidamente por los bovinos, ovejas, cabras, caballos y cerdos. Las partes de la planta y la temporada, en que el ganado las consume más fácilmente, depende en gran medida del hábito de crecimiento de cada especie de *Quercus*. En Europa, se ha demostrado que hojas y ramas de *Q. flex* pueden utilizarse como un suplemento de PC para cabras. En el Suroeste de América del Norte, donde *Q. grisea*, *Q. gambelii* y *Q. dumosa* son comunes, las hojas, rebrotes y ramitas son ramoneadas por cabras y en menor medida por ovinos y bovinos (Holechek *et al.*, 1990). En el sur de Europa, esto también es similar con *Q. flex* y rebrotes de *Q.*

pubescens (Meuret *et al.*, 1985), mientras que en Israel, hojas y tallos jóvenes de *Q. calliprinos* son una importante fuente de alimento para ganado vacuno y caprino. Los niveles reportados de ingesta voluntaria de *Quercus* nativos por cabras en Francia, Grecia e Israel son mayores que con las especies comunes de América del Norte, en niveles equivalentes de contenido de PC y degradabilidad. En la India y Nepal las hojas de algunas especies como *Q. incana*, *Q. semecarpifolia* y *Q. glauca* se cosechan para la alimentación directa en fresco o para su almacenamiento para su uso en tiempos de escasez de forraje. En tales situaciones, la importancia de las bellotas en la alimentación animal es limitada y las hojas contribuyen mayormente (Paterson, 1993). Así mismo, Forwood y Owensby (1985) mencionan que en algunas zonas, también se consumen hojas caídas en el suelo bajo los árboles, pero este material no es especialmente atractivo, y es de mala calidad y baja degradabilidad.

El uso de bellotas de *Q. affinis*, *Q. castanea*, *Q. candicans*, *Q. crassipes*, *Q. glabrescens*, *Q. glaucoides*, *Q. insignis*, *Q. laurina* y *Q. rugosa* se reporta para los estados de Guerrero, Jalisco, Estado de México, Morelos, Oaxaca y Puebla. El uso de follaje como forraje se reporta para Nuevo León y San Luis Potosí. En esta última entidad, las hojas de *Quercus* constituyen un alimento básico para el ganado caprino durante la mayor parte del año (Zavala, 1990). En Tlaxcala, las hojas frescas de *Q. crassipes* y *Q. obtusata* son empleadas para alimentar a los asnos (Espejel *et al.*, 1999).

Nastis y Malechek (1981) señalan que cuando las hojas de *Quercus* constituyen una gran parte de la dieta, su bajo nivel de degradabilidad puede reducir la ingesta voluntaria. Esto, a su vez, da como resultado una dieta deficiente en energía metabolizable, especialmente si se consume junto con un forraje nativo de pobre

calidad. Sin embargo, cuando se utiliza como suplemento en 25% de la dieta, *Q. incana* es capaz de aumentar la degradabilidad y el consumo voluntario de paja de trigo. Las hojas de *Quercus* se utilizan más eficazmente cuando se incluyen en niveles bajos para complementar alimentos de pobre calidad.

En bosques donde predomina *Q. wislizenii* y en temporadas que no existe disponibilidad de pastos, el 84% del consumo de alimento de ovinos, es la biomasa de estos árboles (Wilson *et al.*, 1971).

Si bien no es una práctica común, el uso de aserrín de *Quercus*, se ha estudiado como componente de fibra en dietas altas en energía para bovinos en finalización (El Sabban *et al.*, 1971). El aserrín podría utilizarse correctamente a niveles de hasta un 15% como alimentado de una ración basada en salvado de maíz y harina de soya, sin efectos perjudiciales en las tasas de crecimiento o las características de la canal (Paterson, 1993).

Gasmi-Boubaker *et al.* 2007 y Moujahed *et al.* (2007) señalan que las bellotas de *Q. coccifera* son una fuente de energía rentable para pequeños rumiantes y pueden sustituir el 50% de cebada del concentrado de una dieta basal de cabras. En contraste, Al Jassim *et al.* (1998) sugieren que la sustitución de cebada por bellotas debe ser en un nivel máximo del 25%.

1.8 Metabolitos secundarios de las plantas

Se llama metabolismo primario de las plantas a los procesos químicos que intervienen en forma directa en la supervivencia, crecimiento y reproducción de las plantas. Estos procesos son: la fotosíntesis, respiración celular, transporte de solutos, traslocación, síntesis de proteínas, asimilación de nutrientes, diferenciación de tejidos,

y en general la formación de carbohidratos, lípidos y proteínas, que intervienen en estos procesos o son parte estructural de las plantas. Son metabolitos primarios de las plantas (MPP) los compuestos químicos que intervienen en los procesos mencionados: aminoácidos destinados a la formación de proteínas, nucleótidos, azúcares, ácidos grasos, etc. Debido a su carácter universal en el Reino de las plantas, los procesos que intervienen en el metabolismo primario y sus metabolitos, se encuentran en todas las plantas sin excepción (Patra y Saxena, 2010; Ramírez, 2010).

El concepto de MPP fue creado en contraposición al de metabolitos secundarios de las plantas (MSP), ya que estos últimos son compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es fatal para la planta, ya que no intervienen en su metabolismo primario (Bourgaud *et al.*, 2001). Son compuestos de bajo peso molecular que tienen una gran importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, como es el establecimiento de la simbiosis con otros organismos y en la atracción de insectos polinizadores y dispersores de las semillas. La síntesis activa de MSP se induce cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas como la herbivoría, el ataque por microorganismos o la exposición a la luz solar. En el caso de la respuesta de defensa a patógenos, al menos dos funciones han sido reportadas para los MSP: como fitoalexinas, es decir, compuestos tóxicos a los patógenos, o bien como “cosechadores” de especies de oxígeno reactivas. Los MSP intervienen en las interacciones ecológicas entre la planta y su ambiente (Croteau *et al.*, 2000).

Ramírez (2010) menciona que los MSP suelen ser agrupados según las sustancias químicas que los constituyen, sobre todo si tienen o no nitrógeno en su molécula: 1) compuestos fenólicos (taninos, fitoestrógenos y cumarinas); 2) toxinas

nitrogenadas (alcaloides, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos, aminoácidos tóxicos, lectinas e inhibidores de las proteasas); 3) terpenos (lactonas sesquiterpénicas, glicósidos cardíacos, saponinas); 4) hidrocarburos poliacetilénicos; y 5) oxalatos. Debido a su importancia en la nutrición animal, los MSP más estudiados y documentados en la actualidad son los taninos (Pichersky y Gang, 2000).

1.9 Taninos

Los taninos son nutricionalmente importantes cuando se encuentran en forrajes arbóreos, arbustos, leguminosas, cereales y granos, ya que su presencia a menudo limita su utilización como alimentos (McSweeney *et al.*, 2001). Los taninos son un grupo muy complejo de compuestos fenólicos que se encuentran en numerosas especies vegetales y sirven como un mecanismo de defensa contra los depredadores herbívoros. El término “tanino” es bastante antiguo y hace referencia al curtido de las pieles (del francés *tanner*) (Hervás, 2001). Desde el punto de vista químico es difícil de definir taninos, ya que el término abarca algunos muy diversos oligómeros y polímeros (Rodríguez, 2010). Pero se podría decir, que son compuestos polifenólicos de origen vegetal, que se clasifican en dos tipos, taninos hidrolizables (TH, poliésteres de ácido gálico y azúcares individuales) y taninos condensados (TC, polímeros de flavonoides), aunque también existen otros taninos que son combinaciones de estas dos estructuras básicas (McSweeney *et al.*, 2001).

1.9.1 Taninos hidrolizables

Son ésteres de ácidos fenólicos (ácido gálico y elágico) con un azúcar (generalmente glucosa) o un polialcohol (Isaza, 2007). Estos taninos pueden ser

fácilmente hidrolizados con ácidos, álcalis, agua caliente o enzimas (Torres-Acosta *et al.*, 2008).

1.9.2 Taninos condensados

Son oligómeros o polímeros no ramificados de flavonoides (flavan-3-ol: epicatequina y catequina). También se les denomina proantocianidinas debido a que, sometidos a calor en soluciones ácidas, dan lugar a antocianidinas. No son susceptibles a ser hidrolizados debido a los enlaces C-C que representan (Rodríguez, 2010). Están más distribuidos en la naturaleza que los TH y se encuentran, principalmente, en hojas de árboles, arbustos y leguminosas herbáceas (Van Soest, 1994). Los TC tienen, en general, un peso molecular mayor que los TH (1,000-20,000 vs. 500-3,000 Dalton) (Hervás, 2001).

1.9.3 Propiedades químicas

Entre las propiedades más notables, se encuentran: su capacidad como agente quelante y secuestrador de radicales libres, su capacidad reductora y su actividad antioxidante derivada de las anteriores (Rodríguez, 2010). Sin embargo, la propiedad más importante es la de formar complejos con las proteínas. Con respecto a los taninos, los factores que favorecen la formación de complejos incluyen su alto peso molecular y su gran flexibilidad estructural (Hervás, 2001). Las proteínas con estructura abierta y ricas en prolina, tienen gran afinidad por los taninos, mientras que las glicoproteínas, proteínas globulares y de bajo peso molecular tienen poca afinidad (Waterman, 2000).

Los compuestos que se forman entre los taninos y proteínas o con otros compuestos generalmente son inestables. Los enlaces que los unen continuamente se rompen y se vuelven a formar. Los complejos podrían formarse a través de cuatro tipos de enlaces (Kumar y Singh, 1984): 1) puentes de hidrógeno (reversibles y dependientes del pH) entre los radicales hidroxilo de los grupos fenólicos y el oxígeno de los grupos carbonilo y amino de los enlaces peptídicos de las proteínas, 2) interacciones hidrofóbicas (reversible e independientes del pH) entre el anillo aromático de los compuestos fenólicos y las regiones hidrofóbicas de la proteína, 3) enlaces iónicos (reversibles) entre el ion fenolato y el catión de la proteína (exclusivo para TH) y 4) enlaces covalentes (irreversible) formados a través de la oxidación de los polifenoles a quinonas y su posterior condensación con el grupo nucleofílico de la proteína.

Además de las características propias de los taninos y de las proteínas, existen otros factores ligados al medio que condicionan la formación de los complejos tanino-proteína. Entre estos factores, el más importante es el pH. Se ha comprobado que la formación de complejos entre los taninos (TH y TC) y las proteínas mediante enlaces no covalentes resultan en rangos de pH comprendidos entre aproximadamente 3.5 y 8. Estos complejos, estables por tanto a pH ruminal, se disocian a un pH inferior a 3.5 (como es el pH del abomaso: 2.5-3) o superior a 8 (como son las condiciones de pH del duodeno (Hervás, 2001; Hervás *et al.*, 2003). Además, se ha reportado que la unión es más fuerte conforme avanza el tiempo y cuanto más insoluble en agua es la molécula de tanino. Las especiales características de estas interacciones tanino-proteína hacen que los TC tengan menor afinidad hacia la formación de enlaces con

las proteínas que los TH, los cuales poseen mayor flexibilidad conformacional de su molécula (Waghorn y McNabb, 2003).

1.9.4 Localización en la planta

Los taninos se encuentran aislados en vacuolas de las células vegetales y se liberan hacia el citoplasma cuando la célula se daña o muere. Los TC se encuentran en forma libre (soluble), unidos a la proteína o a carbohidratos de la pared celular (Iason *et al.*, 1995; Ramírez, 2010).

1.9.5 Función de los taninos en la planta

Estas sustancias son elaboradas por la planta y cumplen funciones como la defensa contra hongos, bacterias y virus, la protección contra la radiación ultravioleta y sirven además como mecanismo para evitar la deshidratación de sus tejidos. La presencia de estos componentes confiere a las plantas un sabor desagradable, que en muchos casos genera baja aceptabilidad para su consumo por parte de los animales herbívoros y hace que se disminuya la presión de pastoreo (Santacoloma-Varón y Granados, 2010). Se ha comprobado que las plantas que reciben mayor ataque de los herbívoros son capaces de aumentar su concentración de taninos (O'Reilly, 2002).

1.9.6 Distribución de los taninos en la naturaleza

Los taninos son considerados los MSP más comunes. Sin embargo, no se distribuyen de forma similar en el Reino vegetal. Mientras que los TC se localizan ampliamente en las plantas superiores, los TH tienen una distribución más limitada (Rodríguez, 2010). Muchas especies presentan cantidades apreciables de taninos, de

las cuales se podrían destacar los géneros pertenecientes a las familias de las Betulaceae, Cesalpinaceae, Cistaceae, Cupresaceae, Ericaceae, Fagaceae, Leguminaceae, Poaceae, Rosaceae y salicáceas (Hervás *et al.*, 2003). Además, se distribuyen en alimentos nutricionalmente importantes que comúnmente son utilizados en la alimentación animal, como: árboles, arbustos, leguminosas, cereales y granos (Patra y Saxena, 2011).

En general, los taninos son más abundantes en las partes más “valiosas” de la planta, por ejemplo, las hojas nuevas y las flores (que son más propensas a ser comidas por herbívoros) (Álvarez del Pino *et al.*, 2001). Las altas temperaturas, el estrés hídrico, la intensidad de la luz o la baja calidad de los suelos, aumentan el contenido de taninos de las especies vegetales. Factores ambientales alteran grandemente la concentración de taninos en los forrajes, en general una baja intensidad de luz y baja temperatura reduce la concentración de taninos, mientras que la sequía la incrementa. La concentración de taninos también está en función de la madurez del forraje siendo mayor en forrajes maduros (Van Soest, 1994; Waghorn y McNabb, 2003).

1.10 Tratamientos para evitar los efectos de los taninos

Un gran número de técnicas han sido utilizadas para aminorar los efectos de los taninos, como: ceniza de madera (como una fuente buena y barata de álcali), urea, inmersión en agua, ácidos, álcalis (hidróxido de sodio), henificado (tiene una fácil aplicación), oxidantes, soluciones de formaldehído, aplicación de sales férricas, y la aplicación selectiva de agentes aglutinantes tales como polivinil polipirrolidona (PVP) y polietilenglicol (PEG). Sin embargo, las técnicas más relevantes para la

alimentación con plantas ricas en taninos es reducida, y se han limitado a la suplementación con PEG, que es caro, y con la urea (Norton, 2000; Hervás, 2001).

El PEG es un surfactante no iónico utilizado como agente antiaglutinante (Thakkar y Murthy, 2005), para prevenir la formación de complejos tanino-proteína e incluso es capaz de desplazar a las proteínas de un complejo pre-formado. El PEG ha sido ampliamente utilizado en la investigación, para estudiar los efectos de los taninos sobre la fermentación ruminal. Este compuesto también se usa en la producción animal, para el tratamiento de alimentos ricos en taninos, que proporcionan grandes cantidades de forraje en las regiones áridas y semiáridas, en fin de mejorar su utilización digestiva de los rumiantes (Frutos *et al.*, 2004).

1.10.1 Dosis

La suplementación de PEG una vez al día neutraliza eficientemente los efectos negativos de los taninos. La cantidad necesaria de PEG para producir un aumento máximo en el consumo de MS es inferior a la cantidad necesaria para producir un aumento máximo en la degradabilidad (Silanikove *et al.*, 1996).

En ovinos y caprinos se han observado resultados favorables significativos con dosis de 50 g PEG/animal/día (siendo mayor el efecto en ovinos) y con 25 g no resultaron significativas (Rogosic *et al.*, 2008). En contraste, Alves *et al.* (2011) con la suplementación de 10 g, en estas mismas especies animales observaron resultados positivos en la degradabilidad. Igualmente, Narvaez *et al.* (2011) determinaron el efecto de la suplementación de PEG (4000 MW -peso molecular-) en agua potable en distintos niveles (0.3%, 0.15%, 0.05% y 0% del peso vivo), también en cabras y ovejas y la dosis que dio mejores resultados fue la de 0.15% del peso vivo.

Canbolat *et al.* (2005) evaluaron *in vitro* diferentes dosis (15, 30, 60 y 90 mg) de PEG (8000 MW) con hojas de *Q. cerris*, observando que a medida que se aumentaba la dosis de PEG aumentaba significativamente la degradabilidad de la MO (por cada mg de PEG aumento 0.121 unidades), la producción de gas y el contenido de EM (por cada mg de PEG aumento 0.185 unidades).

Silanikove *et al.* (1997) estudiaron el efecto de la alimentación de cabras *ad libitum* con una dieta rica en taninos de hojas de *Q. calliprinos*, complementada con 300 g de una dieta rica en PC (16 g/kg de PC), agregándole o no 10 g PEG/día. Cuando el concentrado se dio a las cabras sin PEG, el consumo de hojas se redujo significativamente (664 vs 565 g/día) y las cabras perdieron peso rápidamente. Por lo cual concluyeron, que el uso de concentrado con material rico en taninos solo se recomienda si se hace en combinación con PEG.

1.10.2 Efecto

Henkin *et al.* (2009) dicen que bovinos en pastoreo de arbustos con alto contenido de taninos y suplementados, la utilización de 50 g PEG/animal/día, aumentó 18% su búsqueda de alimento, 15% la distancia para la alimentación diaria y se redujo 20% el uso del suplemento (pollinaza), en comparación con el testigo (sin PEG). Sin embargo, PEG no afectó el consumo de agua o peso vivo del animal en cualquiera de los dos grupos. Por lo cual concluyeron, que PEG influye en el comportamiento de pastoreo de ganado vacuno en arbustos y aumenta el uso de especies leñosas con concentraciones altas de taninos. En concordancia, Decandia *et al.* (2008) en cabras que ramoneaban praderas con arbustos con altos contenidos de taninos el PEG (4000 MW), observó que los animales a los que se les incluyó este

polímero tenían un largo tiempo de pastoreo en comparación con los testigos (64% vs. 58). Además el PEG afectó la composición botánica de la dieta, aumentando el consumo de especies de arbustos taniníferos. Así mismo, PEG aumentó la producción de leche. Por lo que concluyeron, que el efecto de PEG depende estrictamente de la composición de los pastos, ya que en matorrales abiertos con cubierta leñosa su efecto es más intenso en la selección de la dieta.

Mantz *et al.* (2009) con novillos alimentados con *Lespedeza cuneata* y suplementados con grano, evaluaron el efecto de PEG. Observándose que al grupo que se le adicionó PEG tuvo aumentos en el consumo (por unidad de peso vivo) y porcentaje de selección (39 vs. 9%) de *L. cuneata*. Así mismo, aumentó el consumo de MS y ganancia diaria de peso (GDP, 0.44 vs. 0.24 kg/día).

En ovinos y caprinos la inclusión de 10 g PEG/animal/día mejora la degradabilidad de la PC de 33.96 a 38.74% en ovejas y de 43.29 a 54.41% en cabras, mostrando que la suplementación con PEG podría convertirse en una buena estrategia de alimentación contra los efectos antinutricionales de taninos de las plantas forrajeras (Alves *et al.*, 2011).

Narvaez *et al.* (2011) determinaron el efecto de la suplementación de PEG (4000 MW) en agua potable en distintos niveles (0.3%, 0.15%, 0.05% y 0% del peso corporal), en cabras y ovejas alimentadas con *Arctostaphylos canescens*, en donde observaron un aumento cúbico en la ingestión de nutrientes a medida que se aumentó PEG en cabras y ovejas, un aumento lineal en la ingesta de PC en cabras. En cuanto a la degradabilidad de la MS, PC y fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se observó un aumento cúbico. Por lo cual concluyeron, que la incorporación de PEG en agua potable a nivel de 0,15% del peso vivo en ovejas y cabras fue eficaz para

maximizar la inactivación de TC en *A. canescens*. Sin embargo, el éxito en la adopción de esta práctica como una herramienta útil en programas de manejo de vegetación dependerá de la relación de costo beneficio.

Por otro lado, Provenza y Villalba (2006) señalan que los animales tienen la capacidad de aprender a buscar o evitar sustancias que corrijan las alteraciones internas. De hecho, animales aumentan su preferencia por un búfer, PEG o fosfato dicálcico cuando se les suministra, respectivamente, con cantidades excesivas de grano, taninos u oxalatos. Ya que, el búfer, PEG o fosfato dicálcico atenúa, respectivamente, el malestar debido a la ingestión en exceso de grano, taninos u oxalatos.

1.11 Efecto de los taninos en la digestión de nutrimentos y función ruminal

1.11.1 Asociación con biomoléculas

Los efectos anti nutritivos de los taninos se asocian a su capacidad para combinarse con proteínas alimentarias, polímeros como la celulosa, hemicelulosa y pectina y minerales, retrasando así su digestión (McSweeney *et al.*, 2001). Pero los mecanismos por los cuales los taninos reducen la degradación ruminal de los diferentes componentes de la dieta no son del todo claros, entre los más aceptados tenemos los que enseguida se explican.

1.11.2 Privación del sustrato

Los taninos pueden interferir con la adhesión de los microorganismos del rumen a las paredes de los vegetales, paso necesario para su posterior degradación (McAllister *et al.*, 1994). Además, la formación de complejos con las proteínas y los

carbohidratos hace que estos nutrientes sean inaccesibles a los microorganismos. Asimismo los taninos son agentes quelantes, y esto podría reducir la disponibilidad de ciertos iones metálicos necesarios para el metabolismo de los microorganismos del rumen (Frutos *et al.*, 2004). Los TC son más eficaces en la formación de complejos tanino-proteína que los TH (Schwab, 1995).

1.11.3 Inhibición enzimática

Los taninos pueden reaccionar con las enzimas de los microorganismos ruminales, inhibiendo su actividad. Los taninos alteran la actividad de las bacterias proteolíticas, celulolíticas y otras enzimas. Con respecto a las enzimas fibrolíticas, los TC inhiben con mayor facilidad la actividad de las hemicelulasas que las celulasas. Varias enzimas microbianas se han identificado que pueden metabolizar los taninos, sobre todo de TH. Entre las bacterias capaces de degradar TH son *Streptococcus Caprinus* (*S. gallolyticus*), que produce pirogalol (un producto de degradación del ácido tánico) (Norton, 2000).

1.11.4 Efecto directo sobre los microorganismos ruminales

Por ejemplo, mediante la alteración de la permeabilidad de sus membranas. Sin embargo, algunos microorganismos pueden tolerar los taninos. El grado de tolerancia es específico para cada microorganismo, explicando las diferentes susceptibilidades de las cepas bacterianas; y también depende de los taninos, y las diferencias entre TH y TC en este sentido son notorias (Frutos *et al.*, 2004). Por lo cual, se sabe que las bacterias que participan en la digestión de fibra son más sensibles a los TC que las bacterias proteolíticas (Schwab, 1995).

1.11.5 Degradabilidad de la proteína

Los taninos en condiciones ácidas ruminales se unen con gran facilidad a la proteína, reduciendo su degradabilidad ruminal en hasta un 7% (Chiquette *et al.*, 1988) (Tabla 1.2). En concordancia, Iqbal *et al.* (2002) dicen que la alimentación de ovinos con *Holcus lanatus* fresca (con una concentración de 55 g de TC/kg⁻¹ de MS) disminuye la degradación ruminal de la proteína del forraje y los aminoácidos sulfurados y aumenta la absorción de metionina y cisteína. Experimentos *in situ* e *in vitro* han demostrado que esto es debido a la acción de los TC de estas plantas en la desaceleración de la tasa de solubilización y degradación de la PC del forraje por los microorganismos ruminales (McNabb *et al.*, 1996).

Tabla 1.2. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *L. pedunculatus*, en el metabolismo y digestión del nitrógeno, en ovinos

Parámetro	Taninos	Con PEG	Observaciones	Referencias
Degradabilidad de proteína cruda, %	15.1	16.2	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> L. con diferentes concentraciones de TC 1 y 3% de TC, respectivamente.	Chiquette <i>et al.</i> , 1988
Amoniaco ruminal (mg de N/l)	367.0	504.0	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
	255.0	370.0	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	175.0	458.0	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
Flujo de N (g ^{-día})				
Abomasal	84.7	55.5	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
	121.1	105.8	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
Duodeno	35.3	30.5	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> con diferentes concentraciones de TC 106 y 46 g de TC/ k ⁻¹ de MS, respectivamente	Barry y Manley, 1984
Heces	11.0	8.3	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> con diferentes concentraciones de TC 106 y 46 g de TC/kg ⁻¹ de MS, respectivamente	Barry y Manley, 1984

Absorción aparente de aminoácidos en el intestino delgado	58.8	36.2	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
	81.4	83.5	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/ kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987

1.11.6 Flujo y absorción de aminoácidos

En ovinos, los TC de *Lotus corniculatus* (22 g de TC/kg⁻¹ de MS) aumenta tanto el flujo abomasal (+34%) como la absorción en el intestino delgado (+38%) de aminoácidos esenciales, con ningún efecto sobre la degradabilidad aparente en el intestino delgado (Barry y Manley, 1984; Waghorn *et al.*, 1987). Min *et al.* (1999), en concordancia con lo anterior, también señala que ovejas pastando *L. corniculatus* (17 g de TC/kg⁻¹ de MS) aumentaron las concentraciones plasmáticas de aminoácidos de cadena ramificada (57%) y aminoácidos esenciales (52%) en comparación con los suplementados con PEG. Sin embargo, Barry y Manley (1984) y Waghorn *et al.* (1987) con *Lotus pedunculatus* (46-106 g de TC/kg⁻¹ de MS) observaron que el aumento del flujo abomasal de aminoácidos esenciales (+13%) fue contrarrestado por la reducción de la degradabilidad aparente en el intestino delgado, con la existencia de sólo un pequeño aumento de la absorción aparente de estos aminoácidos en intestino delgado (+10%). Estos efectos con *L. pedunculatus* podría ser debido a que los TC no liberan algunos aminoácidos en el intestino delgado, al aumento de la secreción de proteínas endógenas o a la inactivación de las enzimas digestivas.

1.11.7 Amoniaco ruminal

En ovinos, alimentados con *L. corniculatus* (22 g de TC/kg⁻¹ de MS) y otros además con PEG, se observó que los no suplementados presentaron 27% menos

concentración de amoníaco ruminal. Igualmente, con *L. pedunculatus* (55 g de TC/kg⁻¹ de MS) hubo una baja en la concentración de 62% (Waghorn *et al.*, 1987). En concordancia, Wang *et al.* (1996b) observaron una baja del 31% con *L. corniculatus* (34 g de TC/kg⁻¹ de MS).

Por lo tanto, la afinidad de los taninos por las proteínas es muy grande, y el pH del medio ruminal favorece la formación de complejos de proteína-tanino. Estos complejos resultantes son menos solubles y menos accesibles a las enzimas proteolíticas en el pH del contenido ruminal, frenando así la tasa de degradación. En general, esta reducción en la degradación de la proteína se asocia con una menor producción de nitrógeno amoniacal y un mayor flujo de nitrógeno no amoniacal al duodeno (Waghorn *et al.*, 1994b; Schwab, 1995).

1.11.8 Degradabilidad de la fibra

El efecto de los taninos en retrasar la digestión de la fibra es considerado como un efecto antinutricional secundario, en comparación con la digestión de nitrógeno. Sin embargo, estudios han demostrado que la digestión de fibra en el rumen se reduce en animales alimentados con *L. pedunculatus* (9.5% TC/ en base a MS) o con *Callindra calothyrsus* (6% TC) (Barry *et al.*, 1986b). Los taninos podrían reducir la digestión de fibra formando complejos con lignina y celulosa y así inhibir la digestión microbiana o inhibir directamente a los microorganismos celulolíticos, o ambos. El 30% de *C. calothyrsus* en la dieta disminuye marcadamente la población de bacterias celulolíticas del rumen, incluyendo *F. succinogenes* y *Ruminococcus* spp. Aunque hubo una reducción de estas bacterias, los protozoarios, hongos y bacterias proteolíticas no fueron afectados significativamente en su población. La inclusión de

C. calothyrsus en la dieta (2-3% de taninos) redujo la población de bacterias que degradan la fibra, pero el efecto sobre el metabolismo microbiano fue insuficiente para alterar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana. En concordancia, la inclusión de *Leucaena leucocephala* (7.3% de TC) no inhibe el flujo de proteína microbiana (McSweeney *et al.*, 2001).

1.11.9 Degradabilidad de carbohidratos

Las altas concentraciones de TC de *L. pedunculatus* (95 y 106 g de TC/kg⁻¹ de MS) deprime la digestión ruminal de carbohidratos fermentables (azúcares solubles + pectina) y hemicelulosa, pero esto fue contrarrestado por el aumento de la digestión post-ruminal (Barry y Manley, 1984; Barry *et al.*, 1986b). La digestión de carbohidratos en ovejas alimentadas con *L. corniculatus* (25-35 g de TC/kg⁻¹ de MS) no fue afectada por los TC (Waghorn *et al.*, 1987).

1.11.10 Producción de metano

Tavendale *et al.* (2005b) dice que los TC de *L. uliginosus* inhibe completamente la producción de metano por la bacteria *Methanobrevibacter ruminantium* cepa DSM1093 y solo la disminuye un 65% para *Methanobrevibacter ruminantium* cepa YLM-1. Por lo tanto, DSM1093 tuvo un efecto bactericida y YLM-1 bacteriostático.

1.11.11 Efectos post-ruminales de los taninos

Se ha sugerido que los taninos no reducen el flujo de proteína microbiana al intestino, y esto puede ser una ventaja, ya que protege la proteína de la dieta de la

digestión en el rumen y aumenta así el suministro total de proteínas de absorción. Los animales pueden consumir cantidades sustanciales de TC sin al parecer reducir el flujo de proteína microbiana al intestino delgado. Por lo tanto, se ha postulado que las diferencias en la degradabilidad de la PC de diferentes leguminosas ricas en taninos son debido a la estabilidad del complejo proteína-tanino post-ruminal. Los taninos de *Lotus* spp. y de *Desmodium ovalifolium* parecen proteger la proteína en el rumen, y separarse de ella en el abomaso e intestinos (Barry *et al.*, 1986b). Sin embargo, los taninos difieren en su capacidad de enlazar la proteína a pH ruminal y la reversibilidad del proceso post-ruminal también puede diferir.

McSweeney *et al.* (2001) con TC purificados de varias especies de *Leucaenas*, en varios estudios, observaron que difieren marcadamente en la digestión aparente del N y esto se relaciona con la capacidad de los taninos purificados para enlazar la proteína. Sin embargo, el complejo proteína-tanino tenía una degradabilidad superior al 78% en el intestino, independientemente del tanino que la estaba ligando. Por lo tanto, se ha sugerido que las ganancias del flujo de proteína digestible de la dieta al intestino compensa, las pérdidas de proteína endógena debido a interacciones entre el TC disociado y las proteínas secretadas y estructurales del tejido intestinal.

Una evidencia que muestra que los taninos reducen la degradabilidad de los alimentos es el aumento de nitrógeno en la excreción fecal cuando aumenta en la dieta el contenido de taninos. Esto se ha observado en experimentos en los que se alimentó a ovinos con plantas altas en taninos (con una concentración de 50 g/kg⁻¹ de MS). Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que la ingestión de taninos tiene como consecuencias el aumento de la secreción de proteínas endógenas, como las glicoproteínas salivales, moco y enzimas digestivas, y el aumento de descamación de

las células intestinales. Por lo tanto, el aumento en el nitrógeno fecal también puede deberse al nitrógeno de origen endógeno, y no solo a la proteína de los alimentos que no fue absorbida (Frutos *et al.*, 2004).

1.12 Efecto de los taninos en el comportamiento productivo de rumiantes

1.12.1 Consumo voluntario

Los taninos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para los rumiantes, dependiendo de qué y cuánto se consume, la estructura del compuesto y el peso molecular, sobre la fisiología de las especies que los consumen. El consumo de <50 g de TC/kg⁻¹ de MS (10-40 g/kg⁻¹ de MS) mejora la utilización digestiva de los alimentos en los rumiantes, debido principalmente a una reducción de la degradación ruminal de la proteína y, como consecuencia, un una mayor disponibilidad de aminoácidos (principalmente esenciales) para la absorción en el intestino delgado (Min y Hart, 2003). Al parecer, el consumo de especies de plantas con alto contenido de TC (generalmente, >50 g/kg⁻¹ de MS) reducen significativamente el consumo voluntario de alimento, mientras que el consumo medio o bajo (<50 g/kg⁻¹ de MS) no parece afectarlo (Waghorn *et al.*, 1994a). Barry y Duncan (1984) mencionan que altas concentraciones de TC de *L. pedunculatus* (63 y 106 g de TC/kg⁻¹ de MS) deprimen sustancialmente el consumo voluntario de ovinos (-21%). Pequeñas bajas en el consumo (-4%), fueron reportadas con la alimentación con *L. corniculatus* que contenía 22 g de TC/kg⁻¹ de MS (Waghorn *et al.*, 1987). Sin embargo, concentraciones moderadas de TC de *Hedysarum coronarium* (45 g de TC/kg⁻¹ de MS) y *L. corniculatus* (17 y 44 g de TC/kg⁻¹ de MS) no tuvieron efecto sobre el consumo voluntario (Wang *et al.*, 1996a, b; Min *et al.*, 1999). Sólo Luque *et al.*

(1999) mencionan que en ovinos alimentados con *L. corniculatus* hubo un aumento del 5% en el consumo de MS (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *L. pedunculatus*, en el consumo de materia seca (CMS) y ganancia diaria de peso (GDP) de ovinos

Concepto	Taninos	Con PEG	Observaciones	Referencia
CMS (kg/día)	1.19	1.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	2.48	3.14	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (63-106 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Barry y Duncan, 1984
	1.70	1.85	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Min <i>et al.</i> , 1999
	1.96	1.86	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Luque <i>et al.</i> , 1999
	1.32	1.34	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	1.40	1.46	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Waghorn <i>et al.</i> , 1987
GDP (g/día)	203.0	188.0	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	251.0	59.0	Hembras alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/kg ⁻¹ de MS). El testigo no tenia PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga.	Douglas <i>et al.</i> , 1995
	40.0	34.0	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Min <i>et al.</i> , 1999
	185.0	178.0	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	275.0	263.0	Machos alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Douglas <i>et al.</i> , 1995
	-2	-3	Ovinos alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Luque <i>et al.</i> , 1999

La ingesta elevada de taninos puede afectar el consumo voluntario de alimento y su utilización digestiva, afectando probablemente la productividad de los animales que los consumen. En general, el consumo elevado de taninos tienen un claro efecto

negativo en la productividad, la disponibilidad de nutrientes se reduce debido a los complejos formados entre los taninos y varios tipos de macromoléculas, se reducen el consumo voluntario de alimento y la degradabilidad, y la fisiología digestiva del animal puede verse afectada (Frutos *et al.*, 2004). Se han sugerido tres mecanismos principales para explicar los efectos negativos de las concentraciones altas de taninos sobre el consumo voluntario de alimento.

1.12.2 Disminución de la palatabilidad

Puede ser causada por una reacción entre los taninos y las mucoproteínas salivales, o a través de una reacción directa con los receptores del gusto, provocando una sensación astringente (Norton, 2000).

1.12.3 Enlentecimiento de la digestión de la MS en el rumen

Esto impide el vaciado del tracto digestivo, generando señales de que el animal está "lleno" e informando a los centros nerviosos implicados en el control de la ingesta (Frutos *et al.*, 2004).

1.12.4 Desarrollo de aversión condicionada

Este mecanismo se basa en la identificación de las consecuencias negativas post-prandial tras la ingestión de taninos, y el posterior desarrollo de aversión condicionada hacia dicho alimento (Frutos *et al.*, 2004).

Por otro lado, la suplementación de PC y energía aumenta la capacidad de las ovejas y cabras de comer alimentos que contienen toxinas como terpenos, taninos y

saponinas. En contraste, herbívoros consumen menos alimentos con toxinas cuando la dieta presenta bajos niveles de nutrientes, como el sodio (Provenza y Villalba, 2006).

La ingestión de toxinas específicas también influye en la selección de nutrientes por animales, presumiblemente el comportamiento va encaminado a corregir el estado interno perturbado. A corderos que se les suministraron terpenos, nitratos, taninos o cloruro de litio seleccionaron dietas con mayores proporciones de PC/energía, que los animales que no recibieron esas toxinas. Por el contrario, después de infusiones de cianuro, corderos prefieren alimentos con menores proporciones de PC/energía que los testigos. En todos los casos, aumentan las necesidades de nutrientes, pero la preferencia de la proporción de PC/energía depende de la toxina específica involucrada (Provenza y Villalba, 2006).

1.12.5 Ganancia diaria de peso

Varios autores han reportado incrementos significativos en la GDP, en comparación con los que se les adiciona PEG, en rumiantes alimentados con *L. corniculatus* (17-34 g de TC/kg⁻¹ de MS), 7.38% Wang *et al.* (1996b), 76.49% Douglas *et al.* (1995), 15% Min *et al.* (1999); y con *L. pedunculatus* (55 g de TC/kg⁻¹ de MS) 3.78% Wang *et al.* (1996b).

1.12.6 Producción de lana

El efecto de los TC en el crecimiento de lana parece depender de su concentración en el alimento. El crecimiento de lana tiene una correlación directa con la utilización de proteína (Priolo y Ben Salem, 2004). En concentraciones bajas, los TC parecen aumentar el crecimiento de lana (Douglas *et al.*, 1995). Barry *et al.* (1986b) y Waghorn *et al.* (1987) observaron una reducción en la degradación de la

proteína en rumen y una mejora en la absorción de aminoácidos. Lo que podría ser responsable del aumento del crecimiento de lana con la alimentación de ovejas con *L. corniculatus* (30-35 g de TC/kg⁻¹ de MS), ya que mejoró la producción de lana de 10 a 14% (Douglas *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 1996a, b; Luque *et al.*, 1999; Min *et al.*, 1999) (Tabla 1.4).

Tabla 1.4. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *L. pedunculatus*, en el crecimiento de lana y la ovulación múltiple de ovinos

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG	Observaciones	Referencia
Crecimiento de la lana (g/día)	1,730	1,690	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/kg ⁻¹ de MS). Estos gramos aumentaron en todo el período	Luque <i>et al.</i> , 1999
	133.00	123.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/kg ⁻¹ de MS). El testigo no tenía PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga. Los resultados son en mg/100cm ² /día	Douglas <i>et al.</i> , 1995
	12.10	10.90	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	1,350	1,310	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/kg ⁻¹ de MS). Estos gramos aumentaron en todo el período	Min <i>et al.</i> , 1999
	10.80	10.20	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
Ovulación múltiple (%)	69.40	59.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Min <i>et al.</i> , 1999
	63.50	61.50	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Luque <i>et al.</i> , 1999

1.12.7 Eficiencia reproductiva

Min *et al.* (1999) y Luque *et al.* (1999) observaron que del 63.50-69.40% de borregas que pastoreaban *L. corniculatus* (17-24 g de TC/kg⁻¹ de MS) presentaban ovulaciones múltiples; por el contrario a las que se les suplemento PEG, solo del

59.20-61.50%. Todo esto debido, posiblemente a factores relacionados con la utilización de proteínas.

1.12.8 Efecto de los taninos en la producción y características de la leche

1.12.8.1 Producción

Decandia *et al.* (2000a,b) observaron en cabras que ramoneaban *Pistacia lentiscos* y *Quercus* spp., mayor producción de leche. En concordancia, Wang *et al.* (1996a) en borregas, que se encontraban a mediados y al final de la lactancia, que fueron alimentadas con *L. corniculatus* (44.5 g de TC/kg⁻¹ de MS), se observaron aumentos en la producción de leche de un 21%, en comparación de a las que además se les agrego PEG. En contraste, Cabiddu *et al.* (2007) en borregas alimentadas con *H. coronarium* observaron que la producción no se veía afectada con la inclusión o no de PEG (Tabla 1.5). Woodward *et al.* (2000) en vacas observaron un aumento de 12.38% (Tabla 1.6).

Tabla 1.5. Efecto de los taninos de *Hedysarum coronarium* en la producción y composición nutricional de leche de oveja

Concepto	Taninos	Con PEG
Producción (ml/animal/día)	1,217.0	1,348.0
Grasa, %	6.7	6.6
Proteína, %	5.8	5.8
Lactosa, %	4.8	4.7
Urea, mg/100 ml	45.1	52.1
Ácidos grasos, mg/g de grasa		
Vaccénico	28.3	39.6
Ruménico (<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 C18:2)	12.6	17.5
Linoleico	21.2	18.8
Linolénico	40.0	28.5
Poliinsaturados	73.8	64.9

Tomado de: Cabiddu *et al.* (2007)

Tabla 1.6. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* en la producción y composición nutrimental de leche de vaca.

Parámetro	Taninos	Con PEG
Producción (kg/animal/día)	21.24	18.61
Grasa, %	4.09	4.20
Proteína, %	3.34	3.16
Lactosa, %	4.92	4.92
Sólidos, kg/animal/día	1.58	1.37

Tomado de: Woodward *et al.* (2000).

1.12.8.2 Concentración de grasa

Decandia *et al.* (2000b) y Cabiddu *et al.* (2007) coinciden en que no se presentan diferencias con la administración o no de PEG en la alimentación de cabras y ovejas con plantas ricas en taninos.

1.12.8.3 Concentración de urea

Decandia *et al.* (2000b) y Cabiddu *et al.* (2007) concuerdan en que existen diferencias en la concentración de urea con la administración o no de PEG en la alimentación de cabras y ovejas con plantas ricas en taninos. Observándose un aumento con la inclusión de PEG (52 vs. 45 mg/100ml).

1.12.8.4 Composición de ácidos grasos

En cuanto a la composición de ácidos grasos, sin la inclusión de PEG el ácido vaccénico se redujo un 28.41%, al igual el ácido ruménico (*cis*-9, *trans*-11 C18:2) en un 28.10%. Por otro lado, sin la administración de PEG aumentaron el linoleico (11.40%), linolénico (28.66%) y ácidos grasos poliinsaturados (12.14%) (Cabiddu *et al.*, 2007).

1.13 Efecto de los taninos en la calidad y características de la canal

1.13.1 Grasa de la canal

La presencia de TC se ha asociado con la reducción del contenido de grasa de la canal en corderos pastando *L. pedunculatus* (Purchas y Keogh, 1984) y *H. coronarium* (Terrill *et al.*, 1992). Sin embargo, en corderos pastando *L. corniculatus*, Wang *et al.* (1996b) no observaron diferencias en la grasa de la canal. Una posible explicación a esta reducción de la grasa ha sido sugerido por Barry *et al.* (1986a), quien observó un menor nivel de Hormona del Crecimiento en corderos, cuando la dieta (*L. pedunculatus*, que contenía 95 g de TC/kg⁻¹ de MS) fue rociada con PEG. La Hormona del Crecimiento aumenta la retención de N y reduce la deposición de grasa en la canal. La razón del mayor nivel de la Hormona de Crecimiento en el plasma se ha explicado como una posible inactivación de las proteínas de pared intestinal por los TC. Sin embargo, Waghorn *et al.* (1994b) no observaron diferencias en el título de la Hormona de Crecimiento en ovinos alimentados con *L. pedunculatus*, con o sin PEG (Tabla 1.7).

Tabla 1.7. Efecto de los taninos de diferentes plantas en el rendimiento y características de la canal, y concentración de la Hormona del Crecimiento de ovinos

Concepto	Taninos	Con PEG	Observaciones	Referencia
Peso de la canal, kg	20.4	17.8	Machos alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/kg ⁻¹ de MS). El testigo no tenía PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga.	Douglas <i>et al.</i> , 1995
Ganancia de la canal, g/día	79.0	75.0	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
	68.0	63.0	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Wang <i>et al.</i> , 1996b
Carcass fatness (mm)	13.1	12.8	Machos alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/kg ⁻¹ de MS). El testigo no tenía PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga	Douglas <i>et al.</i> , 1995
Hormona del Crecimiento, ng/l	41.9	38.1	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (95 g de TC/kg ⁻¹ de MS)	Barry <i>et al.</i> , 1986

1.13.2 Color de la carne

En un experimento con ovinos, con el propósito de comparar dos variedades de sorgo con diferentes contenidos de taninos, se observó que los animales alimentados con la variedad que contenía el nivel más alto mostró una carne de color más claro. Priolo *et al.* (1998), en otro experimento con ovinos, que se alimentaron con taninos de pulpa de *Ceratonia siliqua* que sustituían parcialmente la cebada, se observaron el aumento de luminosidad del músculo *longissimus* (L*) y cuando a otros animales se les dio el mismo alimento, pero además, se le agregó PEG, este mismo músculo fue significativamente más oscuro (menor L*). Otro experimento, Priolo *et al.* (2002) en el que se evaluó el efecto de los taninos del follaje de *Acacia cyanophylla* en la calidad de la carne de ovinos. Se observó que el músculo *longissimus* de los animales que no recibieron PEG fue significativamente más ligero en comparación con el de los animales suplementados (Vasta *et al.*, 2008). Además, en un tercer experimento en el que los ovinos fueron alimentados *H. coronarium* con o sin PEG, la carne de los animales no tratados con PEG fue de color más claro en comparación con los ovinos suplementados (Priolo *et al.*, 2005). Estos resultados, indican que los taninos de especies de plantas diferentes presentan efectos similares en el color de la carne de borrego. El mecanismo de acción de los taninos en el color de la carne no es claro. Pero en un estudio *in vitro*, con fluido ruminal de ganado, se observó que los taninos extraídos de la pulpa de *C. siliqua*, hojas *Schinopsis lorentzii* (quebracho) redujo la biosíntesis microbiana de la vitamina B₁₂, que es un precursor para la síntesis de hemoglobina. De acuerdo con estos hallazgos, es probable que una reducción de la biosíntesis de la hemoglobina causada por los taninos de la dieta podría dar lugar a un color más claro en la carne (Priolo y Vasta, 2007; Vasta *et al.*, 2008).

1.13.3 Composición de ácidos grasos

Vasta *et al.* (2008) investigaron la composición intramuscular de ácidos grasos en ovinos alimentados con la pulpa de *C. siliqua* (vainas sin semillas), con o sin suplementación de PEG, o con maíz. En lo que observaron, que la grasa intramuscular de los ovinos que recibieron *C. siliqua* (27 g de TC/kg de MS) contenían niveles ligeramente más altos de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, y menores cantidades de ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos n-6, en comparación con los corderos alimentados con la dieta a base de maíz. Además, Vasta *et al.* (2005) menciona que la grasa intramuscular de animales alimentados con *C. siliqua* contenían porcentajes más bajos de ácido ruménico, y del ácido trans-vaccénico (*trans* 11 C18: 1) que la de los corderos alimentados con la misma dieta suplementada con PEG. Estos dos ácidos grasos son totalmente (trans-vaccénico) o parcialmente sintetizado durante biohidrogenación ruminal de ácido linoleico (C18: 2 n-6) y ácidos linolénico (C18: 3 n-3), por la acción de los microorganismos del rumen, especialmente *Butyrivibrio fibrisolvens*. Boudroua *et al.* (2009) en un experimento que realizaron con el objetivo de comparar los efectos de bellotas verdes de *Q. ilex* (33.5%) y maíz (67%), en pollos, observaron que a las aves que se les suministro *Quercus* mostraron una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados:ácidos grasos saturados que los de la dieta con maíz. De igual manera, hubo una mayor proporción de ácido linolénico en los pollos alimentados con *Quercus*, en comparación con los testigos (0.8 frente a 0.6%). Por lo cual concluyeron, que los ácidos grasos de la carne con la dieta con *Quercus* mejoran la calidad nutricional, y es preferida por el consumidor (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Efecto de los taninos de *Ceratonia siliqua* en la composición de ácidos grasos intramusculares de ovinos de engorda (g/100 ml)

Parámetro	Taninos, %	Con PEG, %
Ácido <i>trans</i> -vaccénico	0.9	1.7
Ácido ruménico (<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 C18:2)	0.5	0.6
Ácido linolénico	4.8	5.5
Ácido araquidónico	9.5	7.9

Tomado de: Vasta *et al.* (2005)

1.13.4 Sabor de la carne

En un experimento en que se suplementaron ovinos con 200 g/kg de pulpa de *C. siliqua* (contenido de TC en la dieta: 12.4 g/kg de MS), los panelistas entrenados fueron incapaces de distinguir entre la carne cocinada de animales alimentados con *C. siliqua* y la de alimentados con una dieta a base de cereales. Sin embargo, en otro trabajo se informó que cuando las ovejas se les ofreció una dieta que contenía 560 g de *C. siliqua*/kg, los panelistas juzgaron la carne cocida como "suave" y con más sabor en comparación con la carne de animales alimentados con la misma dieta, pero complementado con PEG, o alimentados con una dieta de concentrado. En este experimento la carne de los animales alimentados con la dieta de *C. siliqua* tuvo un valor más alto de pH final y esto pudo haber influido en la presencia de olores desagradables (Vasta *et al.*, 2008).

1.13.5 Olor de la carne

Priolo y Vasta (2007) y Vasta *et al.* (2008) mencionan que los aromas activos de los compuestos escatol (3-metil Indol) y el indol afectan negativamente el sabor de

la carne, que es asociado con un olor fecal. El escatol es sintetizado por los microorganismos ruminales por medio de la descarboxilación y desaminación del aminoácido triptófano, y su acumulación en la grasa de ovinos se ve inducida por la alimentación con pastos verdes. Tavendale *et al.* (2005a) observaron en un experimento que los taninos de *Dorycnium rectum*, reducen la biosíntesis de escatol cuando es inoculado el rumen de ovejas. Además, en otro trabajo se reportó que la suplementación con extracto de semillas completas de uva (subproducto que contiene taninos) en ovinos alimentados con forrajes verdes reduce la concentración de escatol e indol en el plasma y en el fluido ruminal, pero no en la grasa animal, comparado con los ovinos que no recibieron este suplemento.

1.13.6 Efecto de los taninos en la salud animal

1.13.6.1 Efecto antimicrobial

Min *et al.* (2008) trataron tres cepas de bacterias patógenas de la mastitis (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*) con TC purificados, de diferentes especies de plantas leñosas (*Q. marilandica*, *Q. stellata* y *Q. havardii*), con el propósito de evaluar su efecto inhibitor sobre el crecimiento de estas bacterias *in vitro*. Estas bacterias se sometieron a diferentes dosis y fuentes de taninos, cuando se administraron 8 mg de extracto de taninos/ml de *Q. stellata* y *Q. havardii*, se inhibió el crecimiento de *Staphylococcus aureus*. Y concluyeron, que debido a que algunos extractos de taninos de los vegetales son muy inhibidores de los agentes patógenos, pueden ofrecer alternativas y complementos a los aditivos antimicrobianos convencionales para alimentos (Tabla 1.9).

Tabla 1.9. Efecto de taninos condensados purificados de diferentes especies de *Quercus* sobre bacterias patógenas de la mastitis

Tratamiento	Diámetro de inhibición (mm)*	
	50, mg/ml	100, mg/ml
<i>Q. marilandica</i>	0	0
<i>K. pneumoniae</i>	13	16
<i>S. aureus</i>	18	25
<i>E. coli</i>	17	17
<i>Q. stellata</i>	0	0
<i>K. pneumoniae</i>	13	16
<i>S. aureus</i>	27	35
<i>E. coli</i>	18	23
<i>Q. havardii</i>	0	0
<i>K. pneumoniae</i>	12	14
<i>S. aureus</i>	26	32
<i>E. coli</i>	19	24
Penicilina G (10 UI)	0	0
<i>K. pneumoniae</i>	6	0
<i>S. aureus</i>	44	0
<i>E. coli</i>	12	0

*Actividad moderada = 7-14; Actividad alta = >15

Tomado de: Min *et al.* (2008)

En otro trabajo *in vitro*, con taninos purificados de *Solanum trilobatum*, Doss *et al.* (2009) los usaron en contra *S. aureus*, *Streptococcus pyrogens*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris* y *E. coli*. Los taninos exhibieron un gran efecto antibacterial contra estos microorganismos. Siendo *S. aureus* el más resistente a los taninos, seguido de *S. pyrogens*, *S. typhi*, *E. coli*, *P. vulgaris* y *P. aeruginosa* (Tabla 1.10). La concentración mínima inhibitoria de taninos osciló entre 1.0 y 2.0 mg/ml, mientras que la concentración mínima bactericida osciló entre 1.5 y 2.0 mg/ml.

Tabla 1.10. Actividad antibacterial de los taninos de *Solanum trilobatum*.

Concepto	Media del diámetro de la zona de inhibición (mm)					
	<i>S. aureus</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. pyrogenes</i>	<i>E. coli</i>
Taninos, mg/ml						
0.5	8	0	0	0	0	0
1.0	9	8	0	9	10	0
1.5	10	8	8	9	10	9
2.0	11	9	9	11	10	9
2.5	13	10	9	11	11	10
Estreptomicina	20	22	17	16	18	21

Tomado de: Doss *et al.* (2009).

1.13.6.2 Control de parásitos internos

Se cree que el efecto positivo sobre el animal hospedero, podría estar asociado directamente con el efecto negativo de los taninos sobre el parásito e indirectamente por el aumento del suministro de proteínas de sobrepaso, que mejoran la respuesta inmune frente a los parásitos intestinales (Reed, 1995; Min y Hart, 2003). Vázquez *et al.* (2009) observaron que las principales especies vegetales que consume el corzo (*Capreolus capreolus*) en ciertas zonas, presentan un alto contenido de TC, las cuales son: *Rubus ulmifolius*, *Vaccinium myrtillus*, *Q. pyrenaica*, *Chamaespartium tridentatum*, *Anemone nemorosa*, *Daboecia cantabrica* y *Q. robur*. Y estos autores, al relacionar el porcentaje de infección por nematodos gastrointestinales con el contenido de TC que ingieren los corzos en cada estación, observaron que el porcentaje de infección es considerablemente inferior en otoño e invierno que coincide con los periodos en que la alimentación contiene mayor cantidad de TC.

Los animales pueden aprender a superar la carga de parásitos internos ingiriendo alimentos ricos en taninos y nutrientes, ganado alimentándose con plantas con taninos muestra menores cargas de nemátodos, inferior número de huevecillos en las heces y órganos, y mayor ganancia de peso, que animales que consumen plantas similares sin taninos (Provenza y Villalba, 2006).

Iqbal *et al.* (2002) mencionan que en muchos estudios se ha observado un efecto positivo, cuando se alimentan rumiantes con plantas con un alto contenido de taninos. Observándose una reducción significativa de larvas (L1) de nemátodos pulmonares en las heces en ciervos alimentados con *H. coronarium*, que contiene 3.5% de taninos. La ingestión de TC de *S. lorentzii* (50-60 g/kg de MS) puede ser una alternativa a la utilización de fármacos antihelmínticos debido a su capacidad para reducir el número de huevos fecales y controlar el grado de parasitismo de los animales (Hervás, 2001).

1.13.6.3 Prevención del timpanismo

El timpanismo se produce cuando los rumiantes consumen grandes cantidades de leguminosas (por ejemplo, la alfalfa o el trébol). Los gases producidos en el rumen durante la fermentación no se pueden expulsar en forma normal, ya que se encuentran atrapados en una espuma persistente causada por la liberación rápida de proteínas solubles durante la masticación y la degradación ruminal. Sin embargo, cuando estos animales se alimentan de plantas que contienen TC este no se produce. La sustitución de una pequeña cantidad de alfalfa (aproximadamente 10% de MS), por la ingestión de *Onobrychis viciifolia* proporciona beneficios incuestionables en la prevención del timpanismo (McMahon *et al.*, 2000).

1.13.6.4 Cicatrización de heridas

El extracto de *Q. infectoria* (dosis de 400 y 800 mg/kg) presenta un efecto positivo en la curación de heridas, con un aumento significativo en los niveles de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa y catalasa, Tabla 1.11), en el tejido granular. Así mismo, mostró una disminución significativa en el período de epitelización (Tabla 1.12); y facilitó la tasa de contracción de la herida. Por lo tanto, el extracto de *Q. infectoria* apoya la cicatrización de las heridas y la reparación es acelerada (Umachigi *et al.*, 2008). Khennouf *et al.* (2010) observaron que los taninos purificados de *Quercus* presentan una alta inhibición de la peroxidación de los lípidos, hasta en un 65.5%. Otro resultado similar lo obtuvieron González *et al.* (2001), al probar varias especies de árboles con alto contenido de taninos, en bacterias en condiciones *in vitro* (fotoprotección) y en ratas (capacidad antioxidante y actividad antielastasa), observándose que los taninos de todas las especies vegetales eran capaces de proteger la bacterias contra el daño de las radiaciones ultravioletas, lo que coincide con una buena actividad antioxidante y antielastasa.

Tabla 1.11. Efecto de extracto de *Quercus infectoria* en el nivel de enzimas antioxidantes en el tejido granular.

Tratamiento	Superóxido dismutasa, UI/mg	Catalasa, UI/mg
Testigo	0.1	2.4×10^{-2}
Extracto de <i>Q. infectoria</i> 400 mg/kg de peso vivo	0.2	4.8×10^{-2}
Extracto de <i>Q. infectoria</i> 800 mg/kg de peso vivo	0.2	6.5×10^{-2}

Tomado de: Umachigi *et al.* (2008)

Tabla 1.12. Efecto de extracto de *Quercus infectoria* en el período de epitelización

Tratamiento	Epitelización (días)
Testigo	21.3
Extracto de <i>Q. infectoria</i> , 400 mg/kg de peso vivo	13.7
Extracto de <i>Q. infectoria</i> , 800 mg/kg de peso vivo	14.3

Tomado de: Umachigi *et al.* (2008)

1.13.6.5 Toxicidad

La toxicidad de los taninos se relaciona a su tamaño molecular, ya que los taninos con alto peso molecular no pueden ser absorbidos. Esto podría explicar la alta toxicidad de los taninos de bajo peso molecular de especies de *Quercus*, mientras que los de alto peso molecular, como los taninos de *Lespedeza cuneata* no parecen ser tóxicos. Las intoxicaciones por TH se caracterizan principalmente por anorexia, depresión, atonía ruminal, insuficiencia hepática y renal, úlceras a lo largo del tracto digestivo, y gastroenteritis severa. La intensidad de las lesiones parece depender de la dosis y la estructura de los taninos consumidos. Los TH son potencialmente tóxicos pudiendo afectar hígado y riñones, pudiendo ocasionar la muerte. Se dice que los TH son responsables de la mayoría de los efectos nocivos debido a que pueden ser absorbidos y circular por el flujo sanguíneo (Torres-Acosta *et al.*, 2008).

Con respecto a los TC, la ingesta muy alta parece ser necesaria para que los animales sufran intoxicación grave. Por último, es importante señalar que las intoxicaciones causadas por taninos por lo general sólo se producen cuando los animales son obligados a comer alimento rico en taninos, debido a la falta de recursos alternativos de la planta (Frutos *et al.*, 2004).

Sin embargo, se ha descrito toxicidad de *Quercus* en una variedad de animales, incluyendo ganado, búfalos, caballos, ovejas, cerdos, conejos y perros. Pero en cuanto

a esto se puede concluir que las hojas de *Quercus* son un recurso muy valioso para utilizarse con moderación para complementar los pastos o pajas de mala calidad durante los periodos de escasez de alimento. Por lo tanto, los consumos de niveles relativamente bajos de hojas de *Quercus*, tienden a maximizar el uso eficiente del escaso alimento y reducir al mínimo el peligro de pérdidas debido a envenenamiento (Paterson, 1993).

1.14 Literatura citada

- Al Jassim, R.A.M., K.I. Ereifej, R.A. Shibli y A. Abudabos. 1998. Utilization of concentrate diets containing acorns (*Quercus aegilops* and *Quercus coccifera*) and urea by growing Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 29 (3), pg. 289-293.
- Álvarez del Pino, M.C., P. Frutos, G. Hervás, A. Gómez, F.J. Giráldez y A.R. Mantecón. 2001. Efecto del contenido de taninos en la degradación ruminal in vitro de varios órganos de especies arbustivas. *ITEA, Prod Anim* 22, 355-357.
- Alves A.R., P.M.G. Beelen, A. N. de Medeiros, S.G. Neto y R.N. Beelen. 2011. Intake and digestibility of the sabia shrub hay by goats and sheep supplemented with polyethyleneglycol. *Revista Caatinga.* 24, 152-157.
- Arizaga, S., J. Martínez-Cruz, M. Salcedo-Cabrales y M.A. Bello-González. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Primera edición. pp.148.
- Barry, T.N. y S.J. Duncan. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 1. Voluntary intake. *Brit. J. Nutr.* 51. 485–491.

- Barry, T.N. y T.R. Manley. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 2. Quantitative digestion of carbohydrates and proteins. Brit. J. Nutr. 51. 493–504.
- Barry, T.N., T. F. Allsop y C. Redekopp. 1986a. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 5. Effects on the endocrine system and on adipose tissue metabolism. Br. J. Nutr. 56: 607-614
- Barry, T.N., T.R. Manley y S.J. Duncan. 1986b. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 4. Sites of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentration. Br. J. Nutr. 55: 123-137.
- Batos, B., Z. Miletic, S. Orlovic y D. Miljkovic. 2010. Variability of nutritive macroelements in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) leaves in Serbia. Genetika-Belgrade. 42, 435-453.
- Bouderoua, K., J. Mourot y G. Selselet-Attou. 2009. The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*) based diet on growth performance and meat fatty acid composition of broilers. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 22, 843-848.
- Bourgaud, F., A. Gravot, S. Milesi y E. Gontier. 2001. Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. Plant Sci, 161:839-851.
- Cabiddu, A., M. Decandia, M. Addis, S. Spada, M. Fiori, G. Piredda, M. Sitzia, N. Fois y G. Molle. 2007. Effect of the administration of polyethylene glycol (PEG) on the milk fatty acid composition of sheep grazing Sulla (*Hedysarum coronarium*). In Priolo A. (ed.), Biondi L. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.) . Advanced nutrition and feeding strategies to improve sheep and goat = Progrès en nutrition et stratégies alimentaires pour améliorer la

production des ovins et des caprins. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ. p. 251-255:
22.

Canbolat, O., A. Kamalak, E. Ozkose, C.O. Ozkan, M. Sahin y P. Karabay. 2005. Effect of polyethylene glycol on in vitro gas production, metabolizable energy and organic matter digestibility of *Quercus cerris* leaves. Livestock Research for Rural Development. Volume 17, Article #42. Accesado en: Agosto 22, 2011, en: <http://www.lrrd.org/lrrd17/4/canb17042.htm>

Chiquette, J., K.J. Cheng, J.W. Costerton y L.P. Milligan. 1988. Effect of tannins on the digestibility of two isosynthetic strains of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) using in vitro and in sacco techniques. Can. J. Anim. Sci. 68, 751-760.

CONABIO. 2010. El Bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 197 pp. México D.F., México.

Croteau, R. T.M. Kutchan y N.G. Lewis. 2000. Natural products (secondary metabolites). En: Buchanan, Grisse, Jones (editores). Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland, Estados Unidos de América.

De la Paz P.O.C., A.R. Campos, A.I. Quintanar y R.S. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. Madera y Bosques 4 (2):45-65.

Decandia, M., G. Molle, M. Sitzia, A. Cabiddu, A. Ruiu, F. Pampiro y A. Pintus. 2000a. Effect of polyethylene glycol on browsing behaviour and performance

- of late lactating goats. *Options Méditerranéennes, Series Cahiers*, 52: 147-150.
- Decandia, M., M. Sitzia, A. Cabiddu, D. Kababya y G. Molle. 2000b. The use of polyethylene glycol to reduce the anti-nutritional effects of tannins in goats fed woody species. *Small Rum. Res.* 38: 157-164.
- Decandia, A., A. Cabiddu, A. Sitzia y G. Molle. 2008. Polyethylene glycol influences feeding behaviour of dairy goats browsing on bushland with different herbage cover. *Livestock Science.* 116, 183-190.
- Doss, A., H. Mohammed Mubarack y R. Dhanabalan. 2009. Antibacterial activity of tannins from the leaves of *Solanum trilobatum* Linn. *Indian J.Sci.Technol.* Vol.2 No 2.
- Douglas, G.B., Y.Wang, G.C. Waghorn, T.N. Barry, R.W. Purchas, A.G. Foote y G.F. Wilson. 1995. Liveweight gain and wool production of sheep grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*). *N. Z. J. Agr. Res.*, 38: 95-104.
- El-Sabban, F.F., T.A. Long y B.R. Baumgardt. 1971. Utilization of oak sawdust as a roughage substitute in beef cattle rations. *J.Anim. Sci.* 32(4):749-755.
- Encina, D.J.A. y J.A.Q. Villarreal. 2002. Distribución y aspectos ecológicos del género *Quercus* (fagaceae), en el Estado de Coahuila, México. *Polibotánica* Núm. 13: 1-23.
- Encina-Domínguez, J.A., A.L. Zárate, E.C. Estrada, J.R. Valadés y J.A.Q. Villarreal. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica.* 86: 71-108.

- Espejel-Rodríguez, M.M.A., N. Santacruz-García y M. Sánchez-Flores. 1999. El uso de los encinos en la región de La Malinche, Estado de Tlaxcala, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 64:35-39.
- Forwood, J.R. y C.E. Owensby. 1985. Nutritive value of tree leaves in the Kansas Flint Hills. J. Range Manag. 38(1): 61-64.
- Frutos, P., G. Hervás, F. J. Giráldez y A. R. Mantecón. 2004. Review. Tannins y ruminant nutrition. Span J. Agric. Res. 2 (2), 191-202.
- Gasmi-Boubaker, A., H. Abdouli, Hajer Khelil, Rabia Mouhbi y L. Tayachi. 2007. Nutritional Value of Cork Oak Acorn (*Quercus suber* L.) As an Energy Source for Growing Goats. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. 2: 32-37.
- González, F.Y., S.M. Peña, A.R. Sánchez y J.L. Santana. 2001. Taninos de diferentes especies vegetales en la prevención del fotoenvejecimiento. Rev. Cubana Invest. Biomed.; 20 (1): 16-20.
- González, R. V. 2010. Establecimiento de cuatro especies de *Quercus* en el sur de la Península Ibérica. Factores condicionantes. Tesis de doctorado. Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Henkin, Z., A. Perevolotsky, A. Rosenfeld, A. Brosh, F. Provenza y N. Silanikove. 2009. The effect of polyethylene glycol on browsing behaviour of beef cattle in a tanniferous shrubby Mediterranean range. Livestock Science. 126, 245-251.
- Hervás, F.G. 2001. Los taninos condensados de quebracho en la nutrición de ovejas. Efecto sobre la fermentación en el rumen y la digestibilidad, toxicidad y utilización como protectores frente a la degradación ruminal. Memoria de

- Tesis Doctoral. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
Estación Agrícola Experimental. Universidad de León.
- Hervás, G., N. Myaluniz, L.M. Oregui, A.R. Mantecón y P. Frutos. 2003. Evolución anual del contenido de taninos del brezo (*Erica vagans*) y relación con otros parámetros indicativos de su valor nutritivo. ITEA, Prod Anim 99A, 69-84.
- Holechek, J.L., A.V. Munshikpu, L. Saiwana, G. Nunez-Hernandez, R.Valdez, J.D. Wallace y M. Cardenas. 1990. Influences of six shrub diets varying in phenol content on intake and nitrogen retention of goats. Tropical Grasslands, 24:93-98.
- Iason, G.R., J. Hodgson y T.N. Barry. 1995. Variation in condensed tannin concentration of a temperate grass (*Holcus lanatus*) in relation to season and reproductive development. J. Chem. Ecol., 21:1103-1112.
- Infascelli, F., M.I. Cutrignelli, F. Bovera, R. Tudisco, F. Zicarelli y S. Calabrò. 2007. Effects of polyethylene glycol supplementation on the performances of Cilentana goats grazing woodland and scrubland. In Priolo A. (ed.), Biondi L. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.). Advanced nutrition and feeding strategies to improve sheep and goat = Progrès en nutrition et stratégies alimentaires pour améliorer la production des ovins et des caprins. Zaragoza. CIHEAM-IAMZ. p. 153-157: 18.
- Iqbal, Z., A.M. Kamran y N.K. Muhammad. 2002. Anthelmintic effects of condensed tannins. Int. J. Agri. Biol. Vol. 4, No. 3.
- Isaza M.J.H. 2007. Taninos o polifenoles vegetales. Scientia et Technica, abril, año/vol. XIII, No. 033. UTP. ISSN 0122-1701. pp. 13-18.

- Kaul, R.B. 1985. Reproductive morphology of *Quercus* (Fagaceae). Amer. J. Bot., 72 (2): 1962-1977.
- Khenouf, S., S. Amira, L. Arrar y A. Baghiani. 2010. Effect of some phenolic compounds y quercus tannins on lipid peroxidation. World Appl. Sci. J., 8 (9): 1144-1149.
- Kilic, U., M. Boga e I. Guven. 2010. Chemical composition and nutritive value of oak (*Quercus robur*) nut and leaves. J. Applied Animal Research. 38: 101-105.
- Kumar, R. y M. Singh. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. J. Agr. Food. Chem. 32, 447-453.
- Luque, A., T.N. Barry, W.C. McNabb, P.D. Kemp y M.F. McDonald. 1999. The effect of length feeding on *L. Corniculatus* during late summer/autumn upon reproductive efficiency and wool production in ewes. Australian Journal of Agricultural Research.
- Makkar, H.P.S., B. Singh y R.K. Dawra. 1988. Effect of tannin-rich of oak (*Quercus incana*) on various microbial enzyme activities of the bovine rumen. Brit. J. Nutr. 60, 287-296.
- Makkar, H.P.S. 2003. Effects y fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, y strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Rum. Res. 49: 241-256.
- Mantz, G.K., J.J. Villalba y F.D. Provenza. 2009. Supplemental polyethylene glycol affects intake of and preference for sericea lespedeza by cattle. J. Anim. Sci. 87, 761-769.

- McAllister, T.A., H.D. Bae, G.A. Jones y K.J. Cheng. 1994. Microbial attachment y feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72, 3004-3018.
- McMahon, L.R., T.A. McAllister, B.P. Berg, W. Majak, S.N. Acharya, J.D. Popp, B.E. Coulman, Y. Wang y K.J. Cheng. 2000. A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation y bloat in grazing cattle. *Can J. Plant Sci.* 80, 469-485.
- McNabb, W.C., G.C. Waghorn, J.S. Peters y T.N. Barry. 1996. The effect of condensed tannin in *Lotus pedunculatus* upon the solubilization and degradation of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase protein in the rumen and on sites of digestion. *Br. J. Nutr.* 76, 535-549.
- McSweeney, C.S., B. Palmer, D.M. McNeill y D.O. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91, 83-93.
- Meuret, M., N. Bartiaux-Thill y A. Bourbouze. 1985. Evaluation de la consommation d'un troupe de chèvres laitières sur parcours forestier: methode d'observation directe des coups de dents; methode du marqueur oxyde de chrome. *Annales de Zootechnie*, 34(2):159-179.
- Min, B.R., W.C. McNabb, T.N. Barry, P.D. Kemp, G.C. Waghorn y M.F. McDonald. 1999. The effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon reproductive efficiency y wool production in sheep Turing late summer y autumn. *J. Agr. Sci.* 132, 323-334.
- Min, B.R. y S.P. Hart. 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J. Anim. Sci.* 81, E. Suppl. 2, E102-E109.

- Min, B. R., W.E. Pinchak, R. Merkel, S.Walker, G. Tomita y R.C. Yerson. 2008. Comparative antimicrobial activity of tannin extracts from perennial plants on mastitis pathogens. *Sci. Res. Essays*. Vol.3 (2), pp. 066-073.
- Moujahed, N., A. Moujahed-Raach, C. Ben Mustapha, H. Bel Heni y C. Kayouli. 2007. Effects of nitrogen supplementation of acorns (*Quercus coccifera*) on *in vitro* fermentation, intake and digestion by lambs. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #54. Accesado en: Agosto 22, 2011, en: <http://www.lrrd.org/lrrd19/4/mouj19054.htm>
- Naranjo, L.G. 2003. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. II Conferencia Electrónica de Agroforestería para la Producción Animal. Dirección de Producción y Salud Animal. FAO.
- Narvaez, N., A. Brosh, M. Mellado y W. Pittroff. 2011. Performance of sheep and goats fed *Arctostaphylos canescens* with and without polyethylene glycol supplementation. *Rangeland Ecology & Management*. 64, 85-91.
- Nastis, A. S. y J. C. Malechek. 1981. Digestion and Utilization of Nutrients in Oak Browse by Goats. *J. Anim. Sci.* 53(2):283-290.
- Nixon, K. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press Nueva York. pp. 447-458.
- Norton, B.W. 2000. The significance of tannins in tropical animal production. En Brooker J.D. (Ed) *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. ACIAR Proceedings N° 92, pp. 19 -21.

- O'Reilly, G. 2002. Tannin wars. Department of Business, Industry & Resource Develop. pp. 234-255.
- Paterson, R.T. 1993. Use of Trees by Livestock 5: *Quercus*. Chatham, UK: Natural Resources Institute.
- Patra, A.K. y J. Saxena. 2010. Review. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry* 71, 1198–1222.
- Patra, A.K. y J. Saxena. 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 91, 24-37.
- Peinado, L.E., A.C. Gómez, B.J. Rodríguez y C.M. Medina. 1978. La flora arbustiva mediterránea y su valoración. VI. Nota sobre la evaluación de la composición química de *Quercus ilex* L. (Encina). *Archivos de zootecnia*, Vol. 27, núm. 106, pp. 127.
- Pichersky, E. y D.R. Gang. 2000. Genetics and biochemistry of secondary metabolites in plants: an evolutionary perspective. *Trends in Plant Sci.* 5:439-445.
- Pinto-Ruiz, R., D. Hernández, H. Gómez, M.A. Cobos, R. Quiroga y D. Pezo. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia. Trópico húmedo.* 26(1):19-31.
- Priolo, A., M. Lanza, L. Biondi, D. Pappalardo y O.A. Young. 1998. Effect of partially replacing dietary barley with 20% carob pulp on post-weaning growth, and carcass and meat characteristics of Comisana lambs. *Meat Sci.* 50:355-363.

- Priolo, A., H. Ben Salem, N. Atti, y A. Nefzaoui. 2002. Polyethylene glycol in concentrate or feedblock to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage 2. Effects on meat quality of Barbarine lambs. Anim. Sci.75:137-140.
- Priolo, A. y H. Ben Salem. 2004. Effects of dietary condensed tannins on small ruminant productions. Options Mediterranees 59: 209-213.
- Priolo, A., M. Bella, M. Lanza, V. Galofaro, L. Biondi, D. Barbagallo, H. Ben Salem y P. Pennisi. 2005. Carcass y meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium* L.) with or without polyethylene glycol or concentrate. Small Rum. Res. 59: 281-288.
- Priolo, A. y V. Vasta. 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. Ital. J. Anim.Sci. Vol. 6 (Suppl. 1), 527-530.
- Provenza, F.D. y J.J. Villalba. 2006. Foraging in Domestic Herbivores: Linking the Internal and External Milieux. In: Feeding in domestic Vertebrates. Ed: V. Bels. CABI. pp. 217-225.
- Purchas, R.W. y R.G. Keogh. 1984. Fatness of lambs grazed on lotus and white clover. Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod., 44: 219-221.
- Ramírez, R.G. 2010. Importancia de los Taninos en la Nutrición del Venado Cola Blanca. Simposio sobre Fauna Cinegética en México. Puebla.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. J. Anim. Sci. 73, 1516-1528.
- Rodríguez-Estévez, V., A.M. García, C.M. Mata, J.M. Perea y A.G. Gómez. 2008. Dimensiones y características nutritivas de las bellotas de los *Quercus* de la dehesa. Arch. Zootec. 57(R): 1-12.

- Rodríguez, D.R. 2010. Consumo de hojas jóvenes de roble (*Quercus pyrenaica*) por el ganado vacuno: aspectos nutricionales e intoxicación. Memoria de Tesis Doctoral. Instituto de Ganadería de Montaña. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Universidad de León.
- Rogosic, J., J.A. Pfister, F.D. Provenza y J. Pavlicevic. 2008. The effect of polyethylene glycol on intake of Mediterranean shrubs by sheep and goats. *J. Anim. Sci.* 86, 3491-3496.
- Rzedowsky, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F. p. 432
- Rzedowski, G. C., J. Rzedowski y colaboradores. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán). p.1406
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sánchez, A.R. 2002. Presencia, vitalidad y regeneración del *Quercus faginea* en torres. SUMUNTÁN N° 16; P. 89-100.
- Santacoloma-Varón, L.E. y J.E. Granados. 2010. Evaluación del contenido de metabolitos secundarios en dos especies de plantas forrajeras encontradas en dos pisos térmicos de Colombia. *RIAA* 1(1): 31-35.
- Schwab, C.G. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. In *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. Ed R.J. Wallace and A. Chesson. VCH, Weinheim, pp 259-278.
- Silanikove, N., N. Gilboa, I. Nir, A. Perevolotsky y Z. Nitsan. 1996. Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-

- containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. J. Agric. Food Chem. 44: 199-205.
- Silanikove, N., N. Gilboa y Z. Nitsan. 1997. Interactions among tannins, supplementation, and polyethylene glycol in goats fed oak leaves. Anim. Sci. 64:479–483.
- Tavendale, M.H., G.A. Lane, N.M. Schreurs, K. Fraser y L.P. Meagher. 2005a. The effects of condensed tannins from *Dorycnium rectum* on skatole y indole ruminal biogenesis for grazing sheep. Austr. J. Agric. Res.56:1331-1337.
- Tavendale, M.H., L.P. Meagher, D. Pacheco, N. Walker, G.T. Attwood y S. Sivakumaran. 2005b. Methane production from *in vitro* rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. Anim. Feed Sci. Technol. 123–124, 403–419.
- Tejerina, D., S. Garcia-Torres, M. Cabeza de Vaca, R. Cava y F.M. Vazquez. 2010. Interannual variability and evolution during the montanera period of Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) acorns. Span J. Agric. Res. 8, 634-641.
- Terrill, T.H., G.B. Douglas, A.G. Foote, R.W. Purchas, G.F. Wilson y T.N. Barry. 1992. Effect of condensed tannins upon body growth, wool growth and rumen metabolism in sheep grazing Sulla (*Hedysarum coronarium*) and perennial pasture. J. Agr. Sci. Camb. 119: 265-273.
- Thakkar H. y R.S.R. Murthy. 2005. El polietilenglicol como agente antiagregante en la preparación de microesferas de gelatina con celecoxib. Ars Pharm; 46 (1): 19-34.

- Torres-Acosta, J.F., M.A. Alonso-Díaz, H. Hervé, C.A. Syoval-Castro y A.J. Aguilar-Caballero. 2008. Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Vol. 9: pp. 83-90.
- Umachigi, S.P., K.N. Jayaveera, C.K. Ashok Kumar, G.S. Kumar, B.M. Vrushabendraswamy y D.V. Kishore Kumar. 2008. Studies on wound healing properties of *Quercus infectoria*. *Trop. J. Pharm Res.* 7 (1): 913-919.
- Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol. Soc. Bot. México* 75:33-53.
- Valencia, A. S. y G. Flores-Franco. 2006. Catálogo de autoridades taxonómicas de las fagáceas (Fagaceae: Magnoliopsida) de México. Facultad de Ciencias, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto CS008, México.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd Edn.). Cornell University Press. Ithaca, NY (Estados Unidos).
- Vasta, M.L., P. Pennisi, M. Bella y A. Priolo. 2005. Effect of dietary condensed tannins on lamb intramuscular fatty acids. *Proceedings of the XIth seminar of the Sub-Network FAO-CIHEAM on Sheep and Goat Nutrition*, 8-10, p. 23.
- Vasta, V., A. Nudda, A. Cannas, M. Lanza y A. Priolo. 2008. Review: Alternative feed resources y their effects on the quality of meat y milk from small ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147 223-246.
- Vázquez, L., V. Dacal, F.J. Pato, P. Díaz, G. Fernández, J.L. Suárez, E. Mochales, F.J. Cortiñas, R. Francisco, P. Díez-Baños y P. Morrondo. 2009. Influencia de la dieta sobre la parasitación por nematodos gastrointestinales en corzos (*Capreolus capreolus*) de Galicia. *Asociación Interprofesional para el*

- Desarrollo Agrario (AIDA). XXXIX Jornadas de Estudio. XIII Jornadas Sobre Producción Animal. Zaragoza, España. Tomo I. 414 pp.
- Waghorn, G.C., M.J. Ulyatt, A. John y M.T. Fisher. 1987. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. Br. J. Nutr. 57: 115-126.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton, W.C. McNabb y S.N. McCutcheon. 1994a. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. J. Agr. Sci. 123, 109-119.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton y W.C. McNabb. 1994b. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. J. Agr. Sci. 123, 99-107.
- Waghorn, G.C. y W.C. McNabb. 2003. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. Proc. Nutr. Soc. 62, 383-392.
- Wang, Y., G.B. Douglas, G.C. Waghorn, T.N. Barry y A.G. Foote. 1996a. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. J. Agr. Sci. Camb. 126: 353-362.
- Wang, Y., G.C. Waghorn, W.C. McNabb, T.N. Barry, M.J. Hedley y I.D. Shelton. 1996b. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. J. Agr. Sci. Camb. 127: 413-421.
- Waterman, P.G., 2000. The tannins an overview. In: Tannins in livestock and human nutrition. Proceedings of an International Workshop. Editor J.D. Brooker. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. pp. 10-13.

- Wilson, A. D., W. C. Weir y D.T. Torell. 1971. Evaluation of chamise (*Adenostoma fasciculatum*) and interior live oak (*Quercus wislizenii*) as feed for sheep. J. Anim Sci. 32:1042-1045.
- Woodward, S.L., P.J. Laboyrie y E.B.L. Jansen. 2000. *Lotus corniculatus* and condensed tannins – effects on milk production by dairy cows. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13 Supplement A: 521-525.
- Yousef, E. M. 2010. Nutritive value of oak leaves in sheep. Pak. J. Nutr. 9 (2): 141-145.
- Zavala, C.F. 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo. 18:43-51.

CAPÍTULO 2.

EXPERIMENTO 1. PERFIL QUÍMICO Y DIGESTIÓN DEL FOLLAJE DE *Quercus resinosa* Liebm. Y SU EFECTO EN EL CONSUMO Y PALATABILIDAD POR OVINOS

O. Carrillo-Muro ^{a,b}, R.G. Ramírez ^b, P. Hernández-Briano ^{a,b}, M.A. López-Carlos ^a, M.
Guerrero-Cervantes ^c, C.F. Aréchiga ^a, A. Rivera-Villegas ^a, F. Méndez-Llorente ^{a,b},
J.I. Aguilera-Soto ^{a,*}

^a Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Panamericana
Zacatecas-Fresnillo Km 31.5, Gral. Enrique Estrada, Zacatecas 98560, México

^b Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Universidad S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás
de los Garza, Nuevo León 66450, México

^c Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. km 11.5 Carretera Durango-
Mezquital, Durango 34280, México.

* Autor de correspondencia. Tel.: +52 478 9850202/492 1378304.

Dirección de e-mail: aguilaivan@yahoo.com.mx

Resumen

Los objetivos de este estudio fueron determinar el valor nutritivo de las hojas de *Quercus resinosa* Liebm. y sus efectos, por la época de corte y niveles de inclusión en dietas para ovinos de engorda. Las colectas se realizaron en tres sitios: el sitio 1 en el municipio de Tequila, Jalisco, México. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México. El sitio 3 en el municipio de San Cristóbal de La Barranta, Jalisco, México. Las hojas jóvenes (colectadas de abril a

julio) tuvieron el valor nutritivo más elevado ($P < 0.05$) que las hojas de los otros meses. Sin embargo, los componentes fibrosos tuvieron una tendencia contraria. La degradabilidad *in vitro* de la MO, la fracciones rápidamente (a) y lentamente degradables (b), y la degradabilidad potencial (a+b) fueron significativamente mayores en las hojas jóvenes de los primeros meses de muestreo. La constante de degradación de **b** y la hemicelulosa no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre meses. El consumo de MS fue significativamente más elevado en el 0, 10, 30 y 40% de *Q. resinosa*. El consumo de materia seca, y los consumos relativos fueron significativamente más elevados en primavera e invierno que en otras estaciones. Las dietas fueron significativamente más palatables en primavera comparadas con las de otras estaciones; además, los ovinos prefirieron las dietas conteniendo 40% de *Q. resinosa*. Por lo tanto, el follaje de *Q. resinosa* puede sustituir por completo el forraje de dietas de ovinos en engorda siendo las estaciones primavera e invierno de mayor consumo y palatabilidad.

Palabras clave: *Quercus resinosa* Liebm.; perfil químico; degradabilidad de la materia seca; consumo y palatabilidad; ovinos.

1. Introducción

El follaje de los árboles es una fuente importante de forraje para la ganadería, ya que desempeña un papel muy importante en la alimentación de rumiantes en zonas donde hay muy pocas o ninguna alternativa de forraje (Singh y Todaria, 2012). Además, también su importancia radica en que su utilización no compite con la alimentación humana y puede proporcionar una gran cantidad de nutrientes durante

todo el año (Makkar, 2003). También, existe evidencia considerable de que la inclusión de arbustos en la dieta del ganado mejora el comportamiento de éste, cuando los pastos están en latencia y son de baja calidad (Papachristou y Nasti, 1993).

En las zonas áridas, donde el crecimiento de las plantas está limitado por la falta de humedad, las hojas y ramas comestibles de los árboles y arbustos pueden constituir más del 50% de la producción de biomasa de los pastizales. Incluso en las regiones de mayor precipitación, donde los pastos proporcionan la mayor parte del alimento, las hojas y frutas de los árboles pueden formar una parte importante de la dieta, especialmente para pequeños rumiantes (Paterson, 1993).

La utilización del follaje de árboles durante la época crítica de alimentación de herbívoros es una práctica que realizan muchos pequeños productores de especies domésticas como los equinos, bovinos y ovinos. Esta práctica disminuye el efecto negativo que provoca la ganadería sobre el ecosistema, mediante la fijación y reciclado de nutrientes, disminución de la erosión, entre otros (Naranjo, 2003).

El follaje de *Q. resinosa* se podría utilizar, ya que este se encuentra en las épocas del año cuando otros forrajes son escasos y puede ser un complemento útil para dietas de engorda; y las sustancias antinutricionales que contiene en cantidades moderadas podrían presentar efectos benéficos en los animales. Además, son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México; ya que ocupan el 5.5% de la superficie del país (De la Paz *et al.*, 1998). Y se estima que en el mundo hay de 400 a 500 especies aproximadamente, encontrándose en México 161, las cuales representan del 32.2 al 40.2% en el mundo y el 68.8% en América (Valencia, 2004).

Verma y Mishra (1999) señalan que en algunas regiones del mundo, durante temporadas deficientes de forraje, los ganaderos dependen en gran medida de hojas y ramitas de *Quercus*, que a menudo son pastoreadas por los animales o podadas para que estos las coman. En estos sistemas de producción, depende la alimentación de los rumiantes, hasta en más de un 70% de este follaje (Singh y Todaria, 2012). En la India y Nepal, el follaje de *Quercus* es muy importante, y es una práctica que sus hojas tiernas se cosechen como forraje, ya sea para su administración en fresco o para su almacenamiento para su uso durante la escasez de alimento (Makkar *et al.*, 1986).

Sin embargo, en la mayor parte del mundo, se ha investigado poco sobre la utilización de *Q. resinosa* como forraje para rumiantes. Su follaje y biomasa, son vistos generalmente como alimentos de temporada que se utilizan de manera oportunista, ya que caen al suelo, mientras los rebrotes se ramonean de manera similar por los animales. Todo esto, debido a que se dispone de muy poca información sobre la evolución del valor nutricional, degradabilidad y niveles inclusión en dietas de rumiantes. Por lo cual, el objetivo de este estudio fue determinar la evolución de la composición química de las hojas de *Q. resinosa*, con especial atención a su contenido de taninos y degradabilidad *in vitro*, a lo largo de los diferentes meses del año. Así como determinar el consumo y palatabilidad, de follaje cortado en las diferentes temporadas y niveles de inclusión por ovinos en dietas de engorda. Para determinar el efecto de los meses de recolección en el valor nutricional se eligieron, las variables energía metabolizable, energía neta de lactancia, proteína cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulosa, carbohidratos no fibrosos, ácidos grasos de cadena corta, materia orgánica, cenizas y taninos condensados. Para evaluar el efecto de los meses de recolección en la

dinámica de degradación, se usaron las siguientes variables: degradabilidad de la materia seca y materia orgánica, fracciones rápidamente y lentamente degradables, tasa fraccional de degradación, degradabilidad potencial y efectiva. Por último, en la prueba de consumo y palatabilidad se determinó: el consumo de materia seca, coeficiente de consumo de materia seca, coeficiente de tiempo efectivo de consumo, índice relativo de palatabilidad y coeficientes de preferencia de consumo.

2. Métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en tres sitios de muestreo, caracterizados por un mismo patrón, de relieve, climático, edafológico y de vegetación. En cuanto al relieve, está clasificado como Sierra con mesetas, con un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Predomina la clase de roca ígnea extrusiva, y los suelos leptosol y phaeozem. En lo referente a la vegetación, abunda el pastizal y los bosques. El sitio 1 estuvo ubicado en el municipio de Tequila, Jalisco, México, que se ubica entre los paralelos 21°15'07.30'' de latitud Norte y los meridianos 103°39'48.12'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,617 msnm. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México, ubicado entre los paralelos 21°17'46.02'' de latitud Norte y los meridianos 103°34'52.03'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,997 msnm. El sitio 3 se localizó en el municipio de San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México, ubicado entre los paralelos 21°11'30.14'' de latitud Norte y los meridianos 103°35'59.00'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,738 msnm (INEGI, 2009 a, b y c).

Los trabajos de laboratorio y pruebas de preferencia y consumo se realizaron en el Área de Pruebas de Comportamiento de Pequeños Rumiantes y Laboratorio de Nutrición Animal, respectivamente, de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAMVZ-UAZ), ubicada en el Km. 31.5 de la Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo; a 22°58' latitud Norte y 103°30' longitud Oeste, a una altitud de 2,153 msnm.

2.2 Efecto del periodo de recolección del follaje de Quercus

Se realizó un muestreo mensual en estos tres sitios de muestreo durante 2 años, del 1° de abril de 2011 hasta el 28 de febrero del 2013. El follaje de *Q. resinosa* Liebm. se colectó manualmente en cada sitio, siempre a la misma hora y el día primero de cada mes, obteniendo aproximadamente 5 kg, en base húmeda de 15 árboles de cada parcela (se mezclaron las hojas de cada sitio, cada mes), sin disturbio, de 50 × 50 m. A medida que se recogieron se guardaron en bolsas de papel (debidamente identificadas) y se transportaron en hielo. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio, donde se conservaron en refrigeración (4°C). Para obtener su materia seca (MS) parcial, se colocaron en una estufa de aire circulante a 60 °C hasta peso constante y posteriormente se molieron en un molino “Wiley” con una malla de 2 mm, una vez molidas, las muestras se almacenaron en recipientes de plástico herméticamente cerrados, para posteriores análisis químicos.

2.2.1 Análisis químicos

A el follaje recolectado en los diferentes sitios y meses se les realizaron los siguientes análisis por triplicado: proteína cruda (PC), cenizas (AOAC, 1995), fibra

detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA; Van Soest *et al.*, 1991). La hemicelulosa (FDN – FDA) y MO (MS – cenizas) se determinaron por diferencia. Los carbohidratos no fibrosos (CNF) fueron calculados como: $CNF = MS - (PC + FDN + EE + cenizas)$; Sniffen *et al.*, 1992). Para la determinación de PC se utilizó el método de análisis por combustión o método Dumas, AOAC 990.03 (AOAC, 1984), con el determinador de Nitrógeno/Proteína FP-528 de la compañía LECO Corporation (St. Joseph, MI, 2002). El extracto etéreo (EE) fue determinado usando el extractor Ankom^{x115} (AOCS Official Procedure AM 5-04, NY, USA), con éter de petróleo como solvente en la extracción a alta temperatura. La concentración de taninos condensados (TC) se estimó mediante el método de butanol-HCl (Porter *et al.*, 1986).

2.2.2 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta

Por medio de la técnica de producción de gas *in vitro*, se determinó la energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (ENL), degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y ácidos grasos de cadena corta (SCFA).

Para la producción de gas *in vitro* se utilizó fluido ruminal de 3 ovinos de pelo canulados alimentados con una dieta que contenía 83% de heno (50% de alfalfa y 50% de paja de trigo) y 17% de concentrado (63% de maíz molido, 25% de harinolina, 5.5% de carbonato de calcio, 5.5% de fosfato monocálcico), 0.5% premezcla de vitaminas A, D y E, y 0.5% de microminerales, conteniendo (NRC, 2007): 12.8 % de PC, 2.34 Mcal/kg de EM y 64.60% de TND. El alimento se

proporcionó *ad libitum* diariamente a las 0800 y 1600 con acceso libre al agua. La producción de gas se determinó por el método propuesto por Theodorou *et al.* (1994). Para lo cual se utilizaron Unidades de Fermentación de 120 ml (UF) para cada muestra, por cuadruplicado, se introdujeron 700 ± 10 mg de MS de cada una de las muestras en las UF, a las cuales posteriormente se les adicionaron 90 ml de solución buffer gaseado con CO₂ y se guardaron en refrigeración (4° C) por 12 h; al día siguiente se tomaron 700 ml de líquido y 200 g aproximadamente de sólido del contenido ruminal. En el laboratorio se filtró a través de cuatro capas de gasa y posteriormente por lana de vidrio, manteniéndose el líquido a 39° C que fue gaseado con CO₂, en seguida se adicionó a cada UF 10 ml de fluido ruminal. Finalmente, las UF se introdujeron a un baño de agua a 39° C y se inició el registro de la producción de gas utilizando un transductor de presión (SPER SCIENTIFIC, manómetro 840065 con un medidor de presión TA87199). La presión de gas producido fue determinado en PSI (del inglés, Pounds-force per Square Inch), a las 24 de incubación.

Para correcciones por contaminación con el contenido ruminal se utilizaron tres UF sin sustrato como blancos; además, se usaron tres UF de paja de frijol, tres con paja de frijol + maíz molido y 3 con concentrado, como estándares. Las lecturas de presión (PSI) fueron convertidas en volumen (ml) usando una regresión lineal preestablecida entre las presiones registradas en este tipo de UF y volúmenes conocidos de aire inoculados a la misma temperatura de incubación, como: $\text{Volumen} = (\text{Presión} - 0.4009) / 0.3853$; $R = 0.9959$; $\text{EEM} = 0.0522$; y $n = 72$.

Dado que la producción de gas es proporcional a la MS degradada, se uso la producción neta de gas a las 24 h de incubación del sustrato a partir de la obtenida por 700 ± 10 mg MS (Menke *et al.*, 1979) para calcular la EM (Mcal/kg⁻¹ MS) y DIVMO

(%), usando las ecuaciones propuestas por Menke y Steingas (1998), de la siguiente manera:

$$\text{EM (Mcal/kg}^{-1}\text{ MS)} = (2.20 + 0.136 \times \text{PG}_{24\text{h}} + 0.057 \times \text{PC} + 0.0029 \times \text{EE}^2) / 4.184$$

$$\text{DIVMO, \%} = 14.88 + 0.889 \times \text{PG}_{24\text{h}} + 0.045 \times \text{PC} + 0.0651 \times \text{XA}.$$

La ENI (Mcal/kg⁻¹ MS) fue calculada con la ecuación propuesta por Abas *et al.* (2005):

$$\text{ENI (Mcal/kg}^{-1}\text{ MS)} = (0.115 \times \text{PG}_{24\text{h}} + 0.0054 \times \text{PC} + 0.014 \times \text{EE} - 0.0054 \times \text{XA} - 0.36) / 4.184$$

Los SCFA fueron calculados usando la ecuación de Makkar (2005):

$$\text{SCFA (mmol)} = 0.0222 \times \text{PG}_{24\text{h}} - 0.00425$$

Donde, PG_{24h}= producción neta de gas a las 24 h (ml/700 mg); PC = proteína cruda; EE= extracto etéreo; y XA= contenido de ceniza.

2.2.3 Dinámica de degradabilidad *in situ*

La técnica de la bolsa de nylon (Ørskov, 2000) se utilizó para evaluar la degradabilidad de la MS de los tratamientos. Los tratamientos (5 g) se incubaron en el rumen de cinco ovinos machos equipados con cánula ruminal, para lo cual se suspendieron en la parte ventral del rumen durante 0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h de incubación. Las muestras fueron introducidas en orden inverso al tiempo de incubación para ser retiradas posteriormente todas en conjunto. Las bolsas

correspondientes al tiempo cero se introdujeron y se sacaron inmediatamente, con la finalidad de humedecerlas con líquido ruminal (Nocek, 1988). Con los datos obtenidos, para determinar los parámetros de degradabilidad *in situ* y tasas de pasaje, se utilizó el programa computacional Neway (Cheng, 1997), con la ecuación propuesta por (Ørskov y McDonald, 1979).

2.3 Consumo y palatabilidad

Para determinar la preferencia y consumo de las dietas se utilizó la técnica de cafetería, siguiendo el procedimiento descrito por Ganguli *et al.* (2010).

2.3.1 Prueba 1: niveles de inclusión de *Q. resinosa*

Las hojas utilizadas en esta prueba fueron recolectadas en la primera semana de octubre de los años 2011 y 2012. En el mes de octubre las hojas presentan una concentración moderada de nutrientes, compuestos antinutricionales y degradabilidad; además, los subproductos agrícolas, producidos en la región que se usan para alimentar ganado, son muy limitados.

Se elaboraron cinco dietas experimentales, que consistieron en niveles crecientes de inclusión (0, 10, 20, 30 y 40%) de hojas de *Q. resinosa* en sustitución del heno de sorgo de una dieta basal (Tabla 2.1). Se utilizaron un total de 8 ovinos machos enteros Rambouillet (41 ± 1.2 kg de peso vivo), sin antecedentes de consumo de *Q. resinosa*.

Tabla 2.1. Ingredientes y composición química de la dieta basal

Concepto	% de inclusión
Ingredientes	
Melaza	3.8
Maíz rolado	60.0
Grasa vegetal	3.6
Soya	28.3
Carbonato de calcio	1.6
Fosfato monocálcico	0.8
Bicarbonato de sodio	1.5
Premezcla de vitaminas*	0.2
Premezcla de microminerales**	0.2
	100
Composición química	
Nutrientes digeribles totales, %	87
Energía metabolizable, Mcal/kg ⁻¹ MS	3.1
Energía neta de mantenimiento, Mcal/kg ⁻¹ MS	2.2
Energía neta de ganancia, Mcal/kg ⁻¹ MS	1.5
Proteína cruda, %	20.2
Calcio, %	0.95
Fósforo, %	0.69
Magnesio, %	0.26

*Vitaminas A (5,000,000 UI), D (2,000,000 UI) y E (10,000 UI). Excipiente c.b.p. 1,000 g.

**Microminerales Co (0.5g), Fe (50g), I (2.5g), Mn (50g), Zn (50g), Se (0.2g) y Cu (15g). Excipiente c.b.p. 1,000 g.

2.3.2 Prueba 2: fechas de colecta de *Q. resinosa*

Se elaboraron cuatro dietas experimentales conteniendo una mezcla de las hojas de *Q. resinosa* que sobraron en cada estación de la prueba 1. La dieta para esta prueba consistió de 40% hojas de *Q. resinosa* más 60% de una mezcla de ingredientes (Tabla 2.1) y se formuló para cubrir los requerimientos de engorda de machos ovinos (NRC, 2007). Se utilizaron un total de 8 ovinos machos enteros Rambouillet (42±0.8 kg de peso), sin antecedentes de consumo de hojas de *Q. resinosa*.

Para ambas pruebas se realizaron observaciones durante 30 minutos (0830 a 0900), una vez transcurrido este tiempo, los tratamientos que se encontraban en los diferentes compartimentos del comedero fueron retirados, pesados e identificados. El comportamiento de los animales se midió visualmente con la ayuda de 8 cámaras de video Tipo Bullet de visión nocturna (Kit ZMD-KDS8- SARAZ8ZN-500 GB): una por corral, las cuales garantizaron un perfecto dominio del animal y su comedero, sin causar interferencia en el comportamiento normal de los animales.

Para medir el consumo de MS y los consumos relativos de los animales, se restaron los remanentes de los 0.9 kg de dieta que se les ofreció diariamente a los animales, ajustando las pérdidas inherentes a la deshidratación espontánea de los forrajes en el tiempo. Además, se tomaron muestras de cada dieta ofrecida (0.1 kg) y rechazada para cuantificar el contenido de materia seca a través del secado de dichas muestras (60° C por 48 h).

El coeficiente de consumo calculado (COCC) es la relación entre el consumo de cada tratamiento individual, dividido por el consumo promedio de los tratamientos. Un tratamiento se dice que es consumido más que los demás por los animales, cuando COCC calculada es mayor que la unidad. El coeficiente de tiempo efectivo de consumo calculado (COTECc) se refiere a la relación entre el tiempo de consumo de cada tratamiento individual, dividido por el tiempo consumo promedio de todos los tratamientos. Un tratamiento se dice que se le dedico más tiempo para consumirlo que a los demás por los animales, cuando COTECc es mayor que la unidad.

El coeficiente de preferencia de consumo calculado (COPCc) corresponde a la relación entre la frecuencia de preferencia de cada tratamiento individual, dividido por la frecuencia promedio de todos los tratamientos. Se determino en que orden de

preferencia se consumió cada tratamiento, de esta manera se tuvo desde COPCc1 hasta COPCc 4 y 5, siendo el primero el con más frecuencia de preferencia y el ultimo con menor preferencia. Un tratamiento se dice que es preferido más que los demás por los animales, cuando COPCc es mayor que la unidad. El índice relativo de palatabilidad (IRP) se obtuvo dividiendo la cantidad consumida entre el valor más alto de consumo, y se multiplico por 100 (Abdulrazak *et al.*, 2001).

2.4 Análisis estadísticos

Los datos de recolección, fueron analizados con un diseño en bloques al azar, considerando los efectos de sitio (San Cristóbal, Tequila y Teúl de González Ortega) y mes, considerando el sitio como efecto de bloque. Para el análisis de la prueba de consumo y palatabilidad, para la prueba 1, se consideraron los efectos del nivel de inclusión de follaje de *Q. resinosa* en la dieta (0, 20, 30 y 40%), para la prueba 2, se tomaron en cuenta los efectos de estación del año, para lo cual se consideró al día y el animal como factor de bloque. Se utilizó el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (2000), se realizó un ANOVA. Cuando se observaron efectos significativos para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método Tukey usando la sentencia MEANS. Los valores de *P* observados se considerarán estadísticamente diferentes cuando $P < 0.05$.

3. Resultados y discusión

3.1 Perfil químico de las hojas

Los contenidos de MO, PC, CNF y TC fueron significativamente más elevados en abril, mayo y junio, cuando las hojas están inmaduras (Tabla 2.2). Resultados

similares fueron reportados por Forwood y Owensby (1985) al evaluar los contenidos de PC y TC en las hojas de *Q. macrocarpa* o *Q. alba*; además, argumentan que la composición química tiende a disminuir conforme aumenta el tiempo de muestreo; asimismo, Wilson *et al.* (1971) en *Q. wislizenii* reportaron que la PC disminuyó conforme aumentó la madurez de sus hojas. En concordancia con lo anterior, Mero y Uden (1998) señalan que los niveles de PC son elevados en las etapas jóvenes de las plantas en crecimiento y se reducen a medida que madura la planta.

Tabla 2.2. Medias de la dinámica de la composición química de la materia seca (MS) de *Quercus resinosa* Liebm.

Concepto	Meses											EE M
	2011						2012					
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
Materia orgánica, %	97.0 ^a	97.0 ^a	96.8 ^{ab}	96.3 ^{bcd}	96.4 ^{bcd}	96.6 ^{abc}	96.1 ^{cd}	95.8 ^{ed}	95.4 ^{ef}	95.0 ^f	95.0 ^f	0.1
Proteína cruda, %	9.0 ^a	8.8 ^a	8.6 ^a	9.0 ^a	8.8 ^a	8.3 ^{ab}	8.3 ^{ab}	7.8 ^{ab}	7.0 ^{ab}	6.3 ^{bc}	4.4 ^c	0.4
Extracto etéreo, %	1.8 ^a	1.5 ^{abc}	1.8 ^a	1.4 ^{abcd}	1.1 ^d	1.3 ^{cd}	1.4 ^{abcd}	1.5 ^{abc}	1.7 ^{ab}	1.7 ^{ab}	1.8 ^a	0.08
Fibra detergente neutro, %	45.8 ^f	55.3 ^e	59.7 ^d	63.2 ^{cd}	68.4 ^{ab}	66.6 ^{abc}	69.0 ^a	67.8 ^{ab}	65.4 ^{ab} _c	64.4 ^{bc}	62.8 ^{cd}	0.9
Fibra detergente ácido, %	37.5 ^e	46.8 ^d	51.3 ^{cd}	53.6 ^{bc}	60.2 ^a	57.4 ^{ab}	60.7 ^a	60.0 ^a	57.4 ^{ab}	56.3 ^{bc}	54.3 ^{bc}	0.9
Hemicelulosa, %	8.2 ^a	8.5 ^a	8.4 ^a	9.6 ^a	8.1 ^a	9.2 ^a	8.3 ^a	7.8 ^a	8.0 ^a	8.0 ^a	8.5 ^a	0.4
Carbohidratos no fibrosos, %	40.4 ^a	31.3 ^b	27.7 ^c	22.9 ^{de}	18.1 ^{fg}	20.3 ^{efg}	17.3 ^g	18.8 ^{fg}	21.2 ^{fc}	22.6 ^{de}	24.0 ^{cd}	0.7
Cenizas, %	3.0 ^f	3.0 ^f	3.2 ^{ef}	3.7 ^{cde}	3.6 ^{cde}	3.4 ^{def}	3.9 ^{cd}	4.2 ^{bc}	4.6 ^{ab}	5.0 ^a	5.0 ^a	0.1
Taninos condensados, %	14.8 ^a	14.7 ^a	6.4 ^b	4.0 ^c	3.8 ^c	3.9 ^c	3.9 ^c	4.0 ^c	4.0 ^c	4.1 ^c	4.1 ^c	0.5
Energía metabolizable, Mcal/kg⁻¹ MS	1.4 ^a	1.5 ^a	1.4 ^a	1.3 ^{ab}	1.1 ^{bc}	1.2 ^{bc}	0.9 ^c	1.1 ^{bc}	1.1 ^{bc}	1.5 ^a	1.4 ^a	0.1
Energía neta de lactancia, Mcal/kg⁻¹ MS	0.7 ^a	0.8 ^a	0.7 ^a	0.6 ^{ab}	0.4 ^{bc}	0.4 ^{bc}	0.3 ^c	0.4 ^{bc}	0.4 ^{bc}	0.8 ^a	0.7 ^a	0.1
Ácidos grasos de cadena corta, mmol	0.53 ^{ab}	0.62 ^a	0.52 ^{abc}	0.45 ^{bcd}	0.37 ^{cde}	0.37 ^{cde}	0.22 ^e	0.33 ^{de}	0.32 ^{de}	0.58 ^{ab}	0.55 ^{ab}	0.03

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

En este estudio, la FDN y FDA fueron significativamente más bajas durante la primavera, comparadas con las demás estaciones del año. Asimismo, Kelsey y Mihalovich (1987) y Olson y Kelsey (1997) en *Centaurea maculosa* observaron que el contenido de fibra es muy bajo en las etapas tempranas de crecimiento. En este estudio, los contenidos de EE, EM, ENI y SCFA tuvieron las concentraciones más elevadas durante los meses abril, mayo, junio y julio, reduciéndose de manera significativa de agosto a diciembre, y volviéndose a incrementar de manera moderada durante enero y febrero. En este estudio, el contenido hemicelulosa no fue significativamente diferente entre los meses de colecta. Safari *et al.* (2011) con hierbas y pastos nativos de África Oriental, observaron que estos tienen un contenido de PC y EM más elevado al inicio del crecimiento de la planta, el cual se va reduciendo con la madurez; y que todo lo contrario ocurre con la FDN y FDA, ya que es más baja en los primeros meses de crecimiento y más elevada cuando es madura.

3.2 Dinámica de degradabilidad

La DIVMO (Figura 1), la fracciones rápidamente (**a**) y lentamente degradables (**b**), y la degradabilidad potencial (**a + b**) de las hojas de *Q. resinosa* fue significativamente mayores en las hojas jóvenes de los primeros meses de muestreo comparadas con las de los otros meses (Tabla 2.3). La disminución de la degradabilidad de *Q. resinosa* al avanzar su madurez es consistente con estudios previos (Riddle *et al.*, 1999; Hassen *et al.*, 2007; Fulkerson *et al.*, 2007). Resultados similares fueron reportados por Safari *et al.* (2011) al evaluar la degradabilidad de hierbas y pastos nativos de África Oriental. Minson (1982) argumentó que un bajo

contenido de PC y alto contenido de fibra tiene efectos negativos sobre la degradabilidad, tendencias encontradas en este estudio.

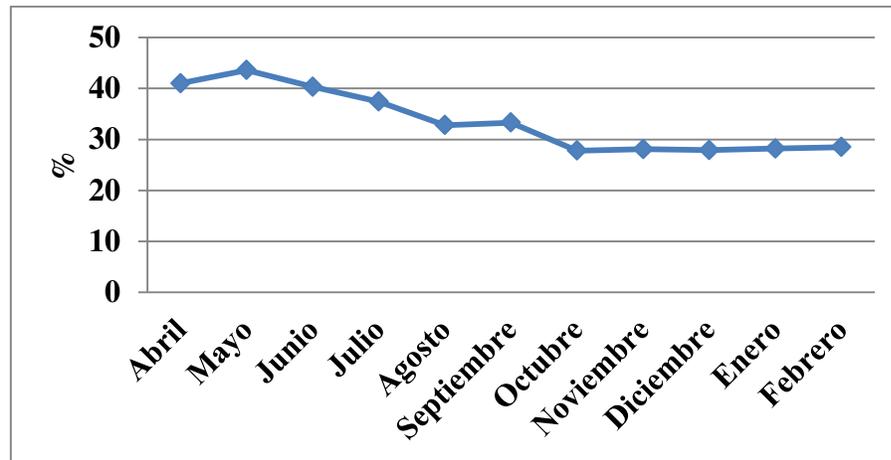


Figura 2.1 Dinámica de la degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) de follaje de *Quercus resinosa* Liebm.

Tabla 2.3. Parámetros de la degradabilidad *in situ* de la materia seca y degradabilidad efectiva (DEMS) de *Quercus resinosa* Liebm.

Parámetros de degradabilidad	Meses											EEM
	2011						2012					
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
Fracción rápidamente degradable (a)	36.0 ^a	25.9 ^b	21.6 ^c	21.0 ^c	21.1 ^c	21.3 ^c	20.7 ^c	23.4 ^{bc}	21.8 ^{cd}	23.2 ^{bc}	24.2 ^{bc}	1.2
Fracción lentamente degradable (b), %	19.8 ^a	19.4 ^a	19.7 ^a	18.7 ^a	18.3 ^a	19.4 ^a	14.4 ^b	10.5 ^b	10.7 ^b	11.4 ^b	8.21 ^b	3.5
Constante de degradación de b (c), %	0.05 ^a	0.04 ^a	0.04 ^a	0.01 ^a	0.04 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a	0.07 ^a	0.05 ^a	0.02
Degradabilidad potencial (a+b), %	55.8 ^a	45.7 ^{ab}	41.3 ^b	39.7 ^b	39.4 ^b	40.7 ^b	35.1 ^{bc}	33.9 ^c	32.5 ^c	34.1 ^c	32.4 ^c	3.2
DEMS, %	48.2 ^a	39.3 ^b	33.7 ^c	26.5 ^{de}	24.4 ^e	30.0 ^{cde}	26.4 ^{de}	28.3 ^{cde}	26.3 ^{de}	31.6 ^{cd}	28.9 ^{cde}	1.1

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

DEMS calculada a una tasa constante de degradación de 3%/h⁻¹

3.3 Consumo y palatabilidad

El consumo de MS fue significativamente más elevado en los animales en las dietas con 0, 10, 30 y 40% de *Q. resinosa* comparado con los de 20% (Tabla 2.4). Los COCc, COTECc y el IRP no fueron significativamente diferentes entre tratamientos. El COPCc1 más elevado fue para el 40%, el COPCc2 para 30%, el COPCc3 para 20%, el COPCc4 para 10% y el COPCc5 para 0%. Lo que pudiera indicar que los animales prefirieron las dietas con 40% de follaje de *Q. resinosa*, seguidos por los que consumieron 30, 20, 10 y 0% (Tabla 2.5). Telford *et al.* (1984) reportaron que el consumo de MS, en cabras, no cambió cuando se incluyeron 25 o 50% de *Quercus* spp. de la dieta, pero si se redujo el consumo con el 75%. Igualmente, Villena-Rodríguez (1987) reportó que el consumo de MS en cabras no fue afectado con niveles de 0, 25 y 50% de *Q. havardii* en la dieta. En contraste, Yildiz *et al.* (2005) recomendaron que solo el 50% del forraje puede sustituirse por follaje de *Q. hartwissiana* en dietas para corderos en finalización. Nastis y Malechek (1981) también señalan que cuando se utiliza *Q. incana* con 25% en la dieta, aumentó el consumo de MS.

Los consumos de MS, COCc y COTECc fueron significativamente más elevados en primavera e invierno comparados con verano o otoño, que fueron más bajos (Tabla 2.6). El IRP fue significativamente mayor en primavera, y más bajo en las otras estaciones. El COPCc1 fue mayor en primavera, los COPCc 2 y 3 fueron mayores en verano, otoño e invierno; y el COPCc4 en invierno. Lo anterior pudiera indicar que prefirieron consumir más en primavera, siendo en invierno los valores más bajos (Tabla 2.7). Ganguli *et al.* (2010) coincide con los resultados obtenidos, ya que señala que los ovinos prefieren y consumen más *Centaurea stoebe* spp cuando

esta se encuentra en crecimiento y en menor proporción durante la madurez. Contrariamente, Riddle *et al.* (1999) reportó que las cabras tuvieron similares consumos el consumo de *Q. virginiana* Sarg. var *fusiformis* en primavera y en otoño.

Tabla 2.4. Consumo y palatabilidad de diferentes niveles materia seca de *Quercus resinosa* Liebm. incluida en dietas de engorda de machos ovinos.

Concepto	Consumo de <i>Quercus resinosa</i> , %					EEM
	0	10	20	30	40	
Consumo de materia seca, %	82.2 ^a	78.8 ^{ab}	73.4 ^b	74.6 ^{ab}	74.7 ^{ab}	2.2
Coefficiente de consumo calculado	1.2 ^a	1.1 ^a	0.9 ^a	0.9 ^a	0.9 ^a	0.1
Coefficiente de tiempo efectivo de consumo calculado	4.1 ^a	3.9 ^a	3.4 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a	0.2
Índice relativo de palatabilidad	97.3 ^a	90.6 ^a	82.1 ^a	83.9 ^a	83.4 ^a	8.7

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

Tabla 2.5. Coeficiente de preferencia a diferentes niveles materia seca de *Quercus resinosa* Liebm. incluida en dietas de engorda de machos ovinos.

Coeficientes de preferencia calculada (COPc)	Consumo de <i>Quercus resinosa</i> , %				
	0	10	20	30	40
COPc1	1.1 ^b	0.4 ^b	0.0 ^b	0.1 ^b	3.3 ^a
COPc2	0.2 ^b	1.0 ^b	0.2 ^b	3.2 ^a	0.3 ^b
COPc3	0.5 ^b	0.2 ^b	3.2 ^a	0.9 ^b	0.2 ^b
COPc4	0.1 ^b	3.5 ^a	0.9 ^b	0.4 ^b	0.1 ^b
COPc5	4.0 ^a	0.4 ^b	0.0 ^b	0.3 ^b	0.3 ^b

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes entre columnas indican diferencias (P<0.05).

Tabla 2.6. Consumo y palatabilidad de materia seca de *Quercus resinosa* Liebm. recolectada en diferentes temporadas e incluida en dietas de engorda de machos ovinos.

Concepto	Consumo de <i>Quercus resinosa</i> Liebm., %				EEM
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	
Consumo de materia seca, %	38.3 ^a	20.2 ^b	27.1 ^b	33.2 ^{ab}	3.0
Coefficiente de consumo calculado	1.5 ^a	0.7 ^b	0.8 ^b	1.0 ^{ab}	0.2
Coefficiente de tiempo efectivo de consumo calculado	1.32 ^a	0.6 ^b	0.8 ^b	1.2 ^{ab}	0.2
Índice relativo de palatabilidad	91.6 ^a	44.7 ^c	56.1 ^{bc}	69.1 ^b	5.1

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

Tabla 2.7. Coeficiente de preferencia de materia seca de *Quercus resinosa* Liebm. recolectada en diferentes temporadas, incluida en dietas de engorda de machos ovinos.

Coefficientes de preferencia calculada (COPc)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	EEM
COPc1	3.3 ^a	0.4 ^b	0.6 ^b	0.07 ^b	0.3
COPc2	0.0 ^b	1.7 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	0.2
COPc3	0.5 ^b	1.2 ^{ab}	2.4 ^a	0.8 ^{ab}	0.4
COPc4	0.0 ^b	0.5 ^b	0.0 ^b	4.5 ^a	0.3

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes entre hileras indican diferencias (P<0.05).

Launchbaugh (1996) coincide con los resultados obtenidos en este estudio, ya que señala que los ovinos pueden formar una fuerte preferencia por los compuestos de sabor desagradable, si su consumo se asocia con una concentración elevada de nutrientes o mejores niveles de energía. Asimismo, Papachristou *et al.* (2005) reportan que las ovejas y cabras seleccionan arbustos con mayor contenido de PC,

FDN más digerible y bajos niveles de lignina. De la misma manera, Carlson *et al.* (1993) señala que *Odocoileus virginianus clavium* elige ramonear especies con alto contenido de PC, fósforo y DMO, no importando el contenido de compuestos antinutricionales.

4. Conclusiones

Los valores de MO, PC CNF, EE, EM, ENI, SCFA y TC; DIVMO y los parámetros de degradabilidad *in situ* de las hojas de *Q. resinosa* fueron más elevados en las hojas jóvenes que en las maduras. Sin embargo, la FDN y FDA fue más bajas en las hojas jóvenes que en las maduras. La hemicelulosa no varió entre colectas. Las hojas de *Q. resinosa* pueden sustituir por completo al forraje de dietas para ovinos en engorda, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo. Asimismo, las hojas colectadas en los diferentes estados vegetativos son más consumidas y preferidas, primavera, seguidas de verano, otoño e invierno. Por tanto, se considera que las hojas de *Q. resinosa* presenta un buen valor nutritivo y de mejor calidad que algunos subproductos agrícolas producidos en la región y usados como alimento en dietas para ovinos.

Reconocimientos

El autor agradece a los pobladores de la región Sur de Zacatecas y Norte de Jalisco, especialmente a José Félix Carrillo Lamas y Ma. Consuelo Muro Saldaña, por la gran ayuda que prestaron para realizar este proyecto e interés en la conservación y mejoramiento de los usos de *Quercus* en la ganadería sustentable.

Referencias

- Abas, I., H. Ozpinar, K.H. Can y R. Kahraman. 2005. Determination of the metabolizable energy (ME) and net energy actation (NEL) contents of some feeds in the marmara region by in vitro gas technique. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29: 751-757.
- Abdulrazak, S.A., J. Nyangaga y T. Fujihara. 2001. Relative palatability to sheep of some browse species their *in sacco* degradability and *in vitro* gas production characteristics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 11:1580-1584.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis, 14th Ed. The Association: Arlington, VA.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Carlson, P.C., G.W. Tanner, J.M. Wood y S.R. Humphrey. 1993. Fire in key deer habitat improves browse, prevents succession, and preserves endemic. *J. Wildl. Manage.* 57(4):914-928.
- De la Paz P.O.C., A.R. Campos, A.I. Quintanar y R.S. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. *Madera y Bosques.* 4 (2):45-65.
- Forwood, J.R. y C.E. Owensby. 1985. Nutritive value of tree leaves in the Kansas Flint Hills. *J. Range. Manage.* 38(1):61-64.
- Fulkerson, W.J., J.S. Neal, C.F. Clark, A. Horadagoda, K.S. Nandra e I. Barchia. 2007. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows. *Grasses and legumes. Livest. Sci.* 107, 253–264.

- Ganguli, A.C., M.B. Hale y K.L. Launchbaugh. 2010. Seasonal change in nutrient composition of spotted knapweed and preference by sheep. *Small Rum. Res.* 89, 47–50.
- Hassen, A., N.F.G. Rethman, W.A. Van Niekerk y T.J. Tjelele. 2007. Influence of season/year and species on chemical composition and in vitro digestibility of five *Indigofera* accessions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 92, 149–158.
- INEGI. 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tequila, Jalisco. Clave Geoestadística 14094.
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Teúl de González Ortega. Clave Geoestadística 32047.
- INEGI. 2009c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Cristóbal de la Barranca, Jalisco. Clave Geoestadística 14071.
- Kelsey, R.G. y R.D. Mihalovich. 1987. Nutrient composition of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*). *J. Range. Manage.* 40, 277–281.
- Launchbaugh, K.L. 1996. Biochemical aspects of grazing behavior. In: Hodgson, J., Illius, A.W. (Eds.), *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB Int, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 159–184.
- Makkar, H.P.S., B. Singh y R.K. Dawra. 1986. Can oak leaves be fed to animals? *Farmers and Parliament.* 24:17-18.
- Makkar, H.P.S. 2003. Effects y fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, y strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rum. Res.* 49: 241-256.

- Makkar, H.P.S. 2005. *In vitro* gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123-124: 291-302.
- Menke, K. H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz y W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92: 217 -222.
- Menke K.H. y H. Steingass. 1998. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.* 28: 7-55.
- Mero, R.N. y P. Uden. 1998. Promising tropical grasses and legumes as feed resources in central Tanzania. VI. Nitrogen balance in growing bulls consuming tropical herbaceous forage legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 72, 387–396.
- Minson, D.J., 1982. Effect of chemical composition on digestibility and metabolizable energy. *Nutr. Rev. Ser. B.* 52, 592–615.
- Naranjo, L.G. 2003. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. II Conferencia Electrónica de Agroforestería para la Producción Animal. Dirección de Producción y Salud Animal. FAO.
- Nastis, A.S. y J.C. Malechek. 1981. Digestion and utilization of nutrients in oak browse by goats. *J. Anim. Sci.* 53(2):283-290.
- Nocek, J.E. y J.B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:2070-2107.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA. National Academy Press.

- Olson, B.E. y R.G. Kelsey. 1997. Effect of *Centaurea maculosa* on sheep rumen microbial activity and mass *in vitro*. *J. Chem. Ecol.* 23, 1131–1144.
- Ørskov, E.R. y L.M. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92: 499-503.
- Ørskov, E.R. 2000. The in situ technique for the estimation of forage degradability in the ruminants. In: *Evaluation in Ruminant Nutrition*, CAB International (eds. D.I. Givens, E.Owen, R.F.E. Axford y H.M.Ohmed). pp 175-188.
- Papachristou, T.G. y A.S. Nasti. 1993. Nutritive value of diet selected by goats grazing on kerme oak shrublands with different shrub and herbage cover in northern Greece. *Small Rum. Res.* 12: 35-41.
- Papachristou, T.G., L.E. Dziba y F.D. Provenza. 2005. Foraging ecology of goats and sheep on wooded rangelands. *Small Rumin. Res.* 59, 141–156.
- Paterson, R.T. 1993. Use of trees by livestock 5: *Quercus*. Chatham, UK: Natural Resources Institute.
- Porter, I.J., L.N. Hirstich y B.G. Chan. 1986. The conversion of procyanidin and prodelphinindins. *Phytochemistry* 25, 223–230.
- Riddle, R.R., C.A. Taylor JR., J.E. Huston y M.M. Kothmann. 1999. Intake of ashe juniper and live oak by angora goats. *J. Range. Manage.* 52:161–165.
- Safari, J., D.E. Mushi, G.C. Kifaro, L.A. Mtenga y L.O. Eik. 2011. Seasonal variation in chemical composition of native forages, grazing behaviour and some blood metabolites of Small East African goats in a semi-arid area of Tanzania. *Anim. Feed Sci. Technol.* 164, 62–70.
- SAS, 2000. SAS/STAT® User's Guide (8.1Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.

- Singh, B. y N.P. Todaria. 2012. Nutrients composition changes in leaves of *Quercus semecarpifolia* at different seasons and altitudes. *Ann. For. Res.* 55(2): 189-196.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox y J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 2. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562–3577.
- Telford, J.P., M.M. Kothmann, R.T. Hinnant y K.R. Ngugi. 1984. Nutritive value of alfalfa and live oak leaves for goats. *Sheep and goat, wool and mohair. National Agricultural Library Catalog (AGRICOLA)*. Pp 10.
- Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan y J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed. Sci. and Technol*; 48:185-197.
- Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol. Soc. Bot. México* 75:33-53.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber y nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Verma, K.S. y V.K. Mishra. 1999. Foliage nutrient concentration and lopping time of agroforestry tree species in the Western Himalayan region of India. *Agroforestry Systems.* 42: 283–290.
- Villena-Rodriguez, F. 1987. Nutrition of goats grazing sand shinnery oak (*Quercus havardii*) ranges in West Texas. A Thesis in Range Science. Submitted to the

Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. Pp. 46-62.

Wilson, A.D., W.C. Weir y D.T. Torell. 1971. Evaluation of chamise (*Adenostoma fasciculatum*) and interior live oak (*Quercus wislizenii*) as feed for sheep. J. Anim Sci. 32:1042-1045.

Yildiz, S., I. Kaya, Y. Unal, D. Aksu Elmali, S. Kaya, M. Censiz, M. Kaya y A. Oncuer. 2005. Digestion and body weight change in Tuj lambs receiving oak (*Quercus hartwissiana*) leaves with and without PEG. Anim. Feed. Sci. Technol. 122: 159-172.

CAPÍTULO 3.

EXPERIMENTO 2. EFECTO DEL RELIEVE Y TIEMPO DE RECOLECCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA, DEGRADABILIDAD *IN VITRO*, CONSUMO Y PALATABILIDAD DE BIOMASA DE *Quercus rugosa* Née POR OVINOS

O. Carrillo-Muro ^{a,b}, R.G. Ramírez ^b, A.S. Castro-Rosales ^a, P. Hernández-Briano ^{a,b},
M.A. López-Carlos ^a, M. González-Ronquillo ^c, A. Rivera-Villegas ^a, F. Méndez-
Llorente ^{a,b}, J.I. Aguilera-Soto ^{a,*}

^a Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Panamericana
Zacatecas-Fresnillo Km 31.5, Gral. Enrique Estrada, Zacatecas, 98560, México

^b Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Universidad S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás
de los Garza, Nuevo León, 66450, México

^c Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario No. 100,
Colonia Centro, Toluca, Estado de México, 50000, México

* Autor de correspondencia. Tel.: +52 478 9850202/492 1378304

Dirección de e-mail: aguileraivan@yahoo.com.mx

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tiempo de la recolección de las hojas de *Quercus rugosa* Née y tres relieves (meseta, lomerío y barranca), sobre el rendimiento y costos de recolección. Además, se midió la composición química, degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DMO), parámetros de la producción de gas *in vitro*, consumo de MS y palatabilidad por ovinos. Las colectas

se realizaron en tres sitios: el sitio 1 en el municipio de Tequila, Jalisco, México. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México. El sitio 3 en el municipio de San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México. Económicamente la colecta en meseta fue mejor, ya que la producción (480 kg de MS ha⁻¹) y recolección (877.8 kg/jornada de trabajo) fueron más elevadas con un costo de \$0.20 pesos/kg de materia seca por cosecha. La composición nutricional y la DMO de las muestras, no fueron diferentes ($P>0.05$) entre periodos de colecta. Sin embargo, los parámetros de la producción de gas *in vitro* (**a**, **b**, **c**, **a+b**) y la degradabilidad efectiva de la MS fueron más elevados en las colectas del mes de abril que las de marzo (medias totales = 0.12 %, 60.1 %, 2.0 %, 60.2 %, 21.2 %, respectivamente). Los ovinos con las dietas con 0, 10, 20 y 30% de *Q. rugosa* Née tuvieron un consumo de MS y el índice de palatabilidad más elevados ($P<0.05$). Las hojas de *Q. rugosa* Née se pueden ser incluidas en dietas de ovinos para mantenimiento hasta en un 30%, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo voluntario.

Palabras clave: *Quercus rugosa* Née; producción de materia seca; composición química; degradabilidad de la materia seca; consumo y palatabilidad; ovinos.

1. Introducción

En los últimos años, el uso de residuos forestales para la alimentación de rumiantes se ha centrado, principalmente, en encontrar alternativas para su uso como fuente de forraje y al mismo tiempo que sea de bajo costo. Las hojas de los árboles son consideradas como biomasa, y esta cae por toneladas al suelo, todos los años, y los productores ignoran que puede ser una alternativa de forraje para rumiantes.

La biomasa de *Q. rugosa* Née se podría utilizar, ya que su defoliación es durante los meses de marzo y abril, que coincide con la época seca y la baja disponibilidad de forrajes para rumiantes; y las sustancias antinutricionales que contiene en cantidades moderadas, podrían presentar efectos benéficos en los animales. Además, son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México; ya que ocupan el 5.5% de la superficie del país (De la Paz *et al.*, 1998). Y se estima que en el mundo hay de 400 a 500 especies aproximadamente, encontrándose en México 161, las cuales representan del 32.2 al 40.2% en el mundo y el 68.8% en América (Valencia, 2004).

Sin embargo, por las cantidades elevadas de hojas que caen de los árboles, el crecimiento de los pastos debajo de *Quercus* es muy reducido o nulo, lo cual no permite la presencia de pastizales deseables. Lo que conlleva a que grandes extensiones de bosques de *Quercus* sean sometidos a la acción periódica del fuego, con el objeto de convertir estas áreas en pastizales, que son más útiles para aprovechamientos ganaderos. Sin embargo, lo que sobreviene, es que los terrenos de esta manera degradados y constantemente sometidos a pastoreo intenso pierden la capacidad de absorber y almacenar eficientemente el agua de la lluvia; el escurrimiento predomina sobre la infiltración y comienza a desencadenarse una rápida erosión del suelo (Rzedowski, 2006; CONABIO, 2010).

Por consiguiente, es tarea urgente, buscar la conservación de todos aquellos encinares, donde su presencia es necesaria para preservar el equilibrio ecológico de cuencas. Para lograrlo, abrimos una línea de investigación tendiente a encontrar más y mejores posibilidades de utilización de biomasa de *Quercus*, con lo cual se pretende

lograr que los propietarios puedan explotar estos bosques con provecho y por ende tengan interés en mantenerlos y conservarlos en buenas condiciones.

Po lo tanto, el objetivo general de este estudio fue determinar el efecto de periodos de recolección de hojas de *Q. rugosa* Née en tres relieves, sobre el rendimiento y costos de recolección; así como su composición nutrimental, degradabilidad *in vitro*, consumo y palatabilidad de ovinos. En el presente estudio, para determinar el efecto de tres relieves sobre los rendimientos de recolección y costos de esta, se seleccionaron las siguientes variables: producción por ha, kg recolectados por jornada de trabajo y costo por kg recolectado. Para determinar el efecto de los periodos de recolección en el valor nutricional se eligieron, las variables energía metabolizable, energía neta de lactancia, proteína cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulosa, carbohidratos no fibrosos, ácidos grasos de cadena corta, materia orgánica, cenizas y taninos condensados. Para evaluar el efecto de los periodos de recolección en la dinámica de degradabilidad, se usaron las siguientes variables: degradabilidad de la materia seca y materia orgánica, fracciones rápidamente y lentamente degradables, tasa fraccional de degradación, degradabilidad potencial y efectiva. Por último, en la prueba de consumo y palatabilidad se determinó: el consumo de materia seca, coeficiente de consumo de materia seca, coeficiente de tiempo efectivo de consumo, índice relativo de palatabilidad y coeficientes de preferencia de consumo. Los objetivos específicos de este estudio fueron: determinar el efecto de los relieves: meseta, lomerío y barranca sobre los rendimientos de producción y recolección y costos de esta; efecto de cuatro periodos de recolección sobre valor nutricional y dinámica de degradabilidad; y por

último, determinar la palatabilidad y consumo de diferentes niveles de inclusión de hojas de *Q. rugosa* Née en dietas de mantenimiento de ovinos hembras.

2. Métodos

2.1 Área de estudio

Los sitios donde se realizó el estudio se encuentran dentro de una zona que presenta el tercer lugar a nivel nacional, en afectación por incendios forestales (CONAFOR, 2009). Se eligieron tres sitios de muestreo, caracterizados por un mismo patrón, de relieve, climático, edafológico y de vegetación. En cuanto al relieve, está clasificado como Sierra con mesetas, con un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Predomina la clase de roca ígnea extrusiva, y los suelos leptosol y phaeozem. En lo referente a la vegetación, abunda el pastizal y los bosques. El sitio 1 estuvo ubicado en el municipio de Tequila, Jalisco, México, que se ubica entre los paralelos 21°15'07.30'' de latitud Norte y los meridianos 103°39'48.12'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,617 msnm. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México, ubicado entre los paralelos 21°17'46.02'' de latitud Norte y los meridianos 103°34'52.03'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,997 msnm. El sitio 3 se localizó en el municipio de San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México, ubicado entre los paralelos 21°11'30.14'' de latitud Norte y los meridianos 103°35'59.00'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,738 msnm (INEGI, 2009 a, b y c).

Los trabajos de laboratorio y pruebas de preferencia y consumo se realizaron en el Área de Pruebas de Comportamiento de Pequeños Rumiantes y Laboratorio de Nutrición Animal, respectivamente, de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria

y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAMVZ-UAZ), ubicada en el Km. 31.5 de la Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo; a 22°58' latitud Norte y 103°30' longitud Oeste, a una altitud de 2,153 msnm.

2.2 Efecto del relieve en el rendimiento y costo de recolección de biomasa de Quercus

Las hojas de *Q. rugosa* Née fueron recolectadas durante la segunda semana de marzo de los años 2012 y 2013. La cosecha se realizó usando 15 personas, directamente del suelo, con la ayuda de rastrillos manuales. Las hojas una vez apiladas en forma de cordones, cada individuo procedió a recogerlas en sacos de polietileno de 1.4 × 1.0 m.

Con la finalidad de determinar el tiempo de recolección manual y llenado de los sacos, cada persona al momento de iniciar activó el cronometro de su reloj digital y al finalizar el llenado, pesado del saco y el traslado de este al vehículo, lo detuvo y registró el tiempo y peso en una bitácora. Posteriormente, las hojas se transportaron hasta donde se realizó el molido y almacenado.

El molido se realizó con un tractor New Holland 7610S 4WD Doble (potencia: al motor 105 hp y a la toma de fuerza 90.4 hp) y un molino marca Azteca No. 24, con una criba con perforación de 2". Este proceso se llevó a cabo con la ayuda de 4 personas: 2 que alimentaban y controlaban el flujo de la biomasa al molino, otro que recibía y encostaba el alimento molido, y uno más que retiraba los sacos llenos y los almacenaba.

Se midió el efecto de 3 tipos de relieve (barranca, lomerío y meseta) en tres sitios por cada tipo de relieve. Se consideró como barranca, a la superficie inclinada

de la colina, loma o montaña, por donde escurren las aguas de lluvia, como lomerío, a terrenos de mediana elevación, cuya altura fluctúa entre 50 a 300 metros; y como meseta, a las zonas que puede tener una loma o una montaña en su parte más alta.

2.2.1 Productividad de MS

La productividad es la cantidad de material vegetal producido por unidad de tiempo (Stiling, 1996). Una de las formas más sencillas y económicas de medirla en los ecosistemas terrestres es la producción de biomasa (Bray y Gorham, 1964; UNESCO, 1980). Las hojas recolectadas se secaron en una estufa de aire circulante a 60 °C durante 48 h para obtener el aporte de materia seca (MS). La productividad se estimó mediante la recolección manual de las hojas en cuadrantes (1.0 × 1.0 m), distribuidos en los diferentes sitios de estudio, los resultados se expresaron en kg de MS ha⁻¹.

2.2.2 Rendimiento de la recolección

Para determinar la recolección por minuto, se dividió el total de minutos invertidos en la recolección entre los kg recolectados, para convertirlos a horas se multiplicó los kg por minuto por 60 minutos y 360 para una jornada de trabajo.

2.2.3 Costos de recolección

Se consideró una jornada de 6 horas, con un costo de \$200.00 mn, lo que equivale a \$33.3 mn por hora y \$0.56 mn por minuto. Para determinar el costo por kg de MS recolectada, se dividieron los kg recolectados por minuto entre el costo de

mano de obra por minuto (\$0.56 mn), para convertirlos a toneladas solo se multiplicó por mil.

2.2.4 Costos de recolección y molido

En una hora de trabajo se molieron 2,000 kg de biomasa. Se consideró el sueldo del molido y almacenado por hora/persona de \$40.0, y son necesarias cuatro personas, dando un total de \$160.0 mn por hora. Para determinar los costos de molido y almacenado se dividió el costo/hora/equipo de molido (\$160.0 mn) entre los 2,000 kg que se molieron. Así mismo, para los costos por el tractor y molino, \$60.0 mn hora, se dividió esto también entre 2,000 kg. Dándonos que moler y almacenar la biomasa presenta un costo de \$0.08 mn por kg y el costo por el tractor y molino \$0.03 mn por kg.

2.3 Efecto del periodo de recolección en la productividad de MS de Quercus

Se realizaron cuatro muestreos quincenales en estos tres sitios de muestreo durante los meses de defoliación de *Q. rugosa* Née, del 1° de marzo hasta el 30 de abril de los años 2012 y 2013. Para determinar el aporte de biomasa se utilizó la técnica propuesta por Bruce y Ebershon (1982); para ello se colocaron debajo de la copa de los árboles, de forma aleatoria, 15 trampas recolectoras en cada sitio, dispersadas al azar en el área (2,500 m²). Las trampas fueron diseñadas y colocadas, según Vitousek (1984) y Donoso (1993).

En este estudio, el tamaño de área de muestreo, número de trampas, altura por encima del suelo de estas y período de recolección, fueron fijados de acuerdo a las

características usadas en los estudios previos (Finotti *et al.*, 2003; Read y Lawrence, 2003; Yang *et al.*, 2004, 2006; Fang *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2007).

2.3.1 Producción de MS

Se determinó con el peso de la biomasa que se obtuvo de cada trampa, en cada periodo de muestreo. La biomasa recolectada se almacenó en bolsas debidamente identificadas para su posterior análisis. Los datos se expresaron en kg de MS ha⁻¹ 15 días⁻¹.

2.3.2 Análisis químicos

A la biomasa recolectada en los diferentes periodos se les realizaron los siguientes análisis por triplicado: proteína cruda (PC), cenizas (AOAC, 1995), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA; Van Soest *et al.*, 1991). La hemicelulosa (FDN – FDA) y MO (MS – cenizas) se determinaron por diferencia. Los carbohidratos no fibrosos (CNF) fueron calculados como: CNF (%) = MS - (PC + FDN + EE + cenizas; Sniffen *et al.*, 1992). Para la determinación de PC se utilizó el método de análisis por combustión o método Dumas, AOAC 990.03 (AOAC, 1984), con el determinador de Nitrógeno/Proteína FP-528 de la compañía LECO Corporation (St. Joseph, MI, 2002). El extracto etéreo (EE) fue determinado usando el extractor Ankom^{xt15} (AOCS Official Procedure AM 5-04, NY, USA), con éter de petróleo como solvente en la extracción a alta temperatura. La concentración de taninos condensados (TC) se estimó mediante el método de butanol-HCl (Porter *et al.*, 1986).

2.3.3 Determinación de la producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se utilizó fluido ruminal de 3 ovinos de pelo canulados alimentados con una dieta que contenía 83% de heno (50% de alfalfa y 50% de paja de trigo) y 17% de concentrado (63% de maíz molido, 25% de harinolina, 5.5% de carbonato de calcio, 5.5% de fosfato monocálcico), 0.5% premezcla de vitaminas A, D y E, y 0.5% de microminerales, conteniendo (NRC, 2007): 12.8 % de PC, 2.34 Mcal/kg de EM y 64.60% de TND. El alimento se proporcionó *ad libitum* diariamente a las 0800 y 1600 con acceso libre al agua. La producción de gas se determinó por el método propuesto por Theodorou *et al.* (1994), para lo cual se utilizaron Unidades de Fermentación de 120 ml (UF) para cada muestra, por cuadruplicado, se introdujeron 700 \pm 10 mg de MS de cada una de las muestras en las UF, a las cuales posteriormente se les adicionaron 90 ml de solución buffer gaseado con CO₂ y se guardaron en refrigeración (4° C) por 12 h; al día siguiente se tomaron 700 ml de líquido y 200 g aproximadamente de sólido del contenido ruminal. En el laboratorio se filtró a través de cuatro capas de gasa y posteriormente por lana de vidrio, manteniéndose el líquido a 39° C que fue gaseado con CO₂, en seguida se adicionó a cada UF 10 ml de fluido ruminal. Finalmente, las UF se introdujeron a un baño de agua a 39° C y se inició el registro de la producción de gas utilizando un transductor de presión (SPER SCIENTIFIC, manómetro 840065 con un medidor de presión TA87199). La presión de gas producido fue determinado en PSI (del inglés, Pounds-force per Square Inch), a las 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h de incubación.

Para correcciones por contaminación con el contenido ruminal se utilizaron tres UF sin sustrato como blancos; además, se usaron tres UF de paja de frijol, tres con

paja de frijol + maíz molido y 3 con concentrado, como estándares. Las lecturas de presión (PSI) fueron convertidas en volumen (ml) usando una regresión lineal preestablecida entre las presiones registradas en este tipo de UF y volúmenes conocidos de aire inoculados a la misma temperatura de incubación, como: $\text{Volumen} = (\text{Presión} - 0.4009) / 0.3853$; $R = 0.9959$; $\text{EEM} = 0.0522$; y $n = 72$.

2.3.3.1 Dinámica de degradabilidad

Posteriormente con el volumen de gas de los diferentes periodos de muestreo se determinó la dinámica de degradabilidad por la ecuación propuesta por (Ørskov y McDonald, 1979): $\mathbf{p} = \mathbf{a} + \mathbf{b} (1 - e^{-\mathbf{c}t})$, donde, \mathbf{p} = % de degradación de la materia seca (MS) a un tiempo \mathbf{t} ; \mathbf{a} = fracción soluble o rápidamente degradable; \mathbf{b} = fracción insoluble o lentamente degradable en el tiempo \mathbf{t} ; e = logaritmo natural; \mathbf{c} = constante de degradación de \mathbf{b} ; y \mathbf{t} = tiempo de incubación. De ello se deduce que $\mathbf{a} + \mathbf{b}$ = degradabilidad potencial máxima del alimento; y la degradación efectiva, que corresponde a la degradación potencial ($\mathbf{a} + \mathbf{b}$) ajustada por efecto de la tasa de pasaje (\mathbf{k}), se calculó por la relación $\mathbf{p} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) / (\mathbf{c} + \mathbf{K}_p)$, para valores de \mathbf{K}_p de 5 \% h^{-1} , correspondiente a dietas con una producción moderada.

2.3.3.2 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta

Dado que la producción de gas es proporcional a la MS degradada, se usó la producción neta de gas a las 24 h de incubación del sustrato a partir de la obtenida por $700 \pm 10 \text{ mg MS}$ (Menke *et al.*, 1979) para calcular la energía metabolizable (EM,

Mcal/kg⁻¹ MS) y degradabilidad de la materia orgánica (DMO, %) usando las ecuaciones propuestas por Menke y Steingas (1998), de la siguiente manera:

$$EM \text{ (Mcal/kg}^{-1} \text{ MS)} = (2.20 + 0.136 \times PG_{24h} + 0.057 \times PC + 0.0029 \times EE^2) / 4.184$$

$$DMO, \% = 14.88 + 0.889 \times PG_{24h} + 0.045 \times PC + 0.0651 \times XA.$$

La energía neta de lactancia (ENL, Mcal/kg⁻¹ MS) fue calculada con la ecuación propuesta por Abas *et al.* (2005):

$$ENL \text{ (Mcal/kg}^{-1} \text{ MS)} = (0.115 \times PG_{24h} + 0.0054 \times PC + 0.014 \times EE - 0.0054 \times XA - 0.36) / 4.184$$

Los ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés) fueron calculados usando la ecuación de Makkar (2005):

$$SCFA \text{ (mmol)} = 0.0222 \times PG_{24h} - 0.00425$$

Donde, PG_{24h} = producción neta de gas a las 24 h (ml/700 mg); PC = proteína cruda; EE = extracto etéreo; y XA = contenido de ceniza.

2.4 Consumo y palatabilidad

Para determinar la preferencia y consumo de las dietas se utilizó la técnica de cafetería, siguiendo el procedimiento descrito por Ganguli *et al.* (2010). Se utilizaron un total de 8 ovinos hembras Rambouillet (58±2.8 kg de peso), sin antecedentes de consumo de hojas de *Q. rugosa* Néé.

2.4.1 Elaboración de tratamientos

Se elaboraron ocho dietas experimentales, que consistieron en niveles crecientes de inclusión de biomasa de *Q. rugosa* Née, que sustituyeron el heno de sorgo. Los niveles de inclusión fueron de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70% de hojas y el 30% de una dieta basal (Tabla 3.1). Esta dieta basal fue formulada para cubrir los requerimientos de mantenimiento de hembras de ovino (NRC, 2007). Las hojas utilizadas para elaborar estas dietas fueron recolectadas al final de la segunda semana de marzo de los años 2012 y 2013.

Tabla 3.1. Ingredientes y composición química de la dieta basal.

Concepto	% de inclusión
Ingredientes	
Melaza	6
Maíz rolado	26.6
Grasa vegetal	4
Soya	53
Salvado de trigo	7
Carbonato de calcio	1.1
Fosfato monocálcico	1
Cloruro de sodio	0.5
Premezcla de vitaminas*	0.4
Premezcla de microminerales**	0.4
	100
Composición química	
Nutrientes digestibles totales, %	80.56
Energía metabolizable, Mcal/kg ⁻¹ MS	2.78
Energía neta de mantenimiento, Mcal/kg ⁻¹ MS	1.94
Energía neta de ganancia, Mcal kg ⁻¹ MS	1.33
Proteína cruda, %	27.53
Calcio, %	0.95
Fósforo, %	0.69
Magnesio, %	0.26

*Vitaminas A (5,000,000 UI), D (2,000,000 UI) y E (10,000 UI). Excipiente c.b.p. 1,000 g.

**Microminerales Co (0.5g), Fe (50g), I (2.5g), Mn (50g), Zn (50g), Se (0.2g) y Cu (15g). Excipiente c.b.p. 1,000 g.

2.4.2 Mediciones

Las observaciones se realizaron durante 30 minutos (0830 a 0900), una vez transcurrido este tiempo, los tratamientos que se encontraban en los diferentes compartimentos del comedero fueron retirados, pesados e identificados. El comportamiento de los animales se midió visualmente con la ayuda de 8 cámaras de video Tipo Bullet de visión nocturna (Kit ZMD-KDS8- SARAZ8ZN-500 GB): una por corral, las cuales garantizaron un perfecto dominio del animal y su comedero, sin causar interferencia en el comportamiento normal de los animales.

2.4.2.1 Consumo de MS

Los remanentes de los 0.90 kg de dieta por tratamiento, después de que pasaron los 30 minutos de la prueba, fueron retirados. La cantidad consumida de la dieta por cada animal se midió restando la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado, ajustando las pérdidas inherentes a la deshidratación espontánea de los forrajes en el tiempo. Además, se tomaron muestras de cada dieta ofrecida (0.10 kg) y rechazada para cuantificar el contenido de materia seca a través del secado de dichas muestras (60° C por 48 h).

2.4.2.2 Coeficiente de consumo calculado (COCc)

El COCc es la relación entre el consumo de cada tratamiento individual, dividido por el consumo promedio de los 8 tratamientos. Un tratamiento se dice que es consumido más que los demás por los animales, cuando COCc calculada es mayor que la unidad.

2.4.2.3 Coeficiente de tiempo efectivo de consumo calculado (COTECc)

Los datos del tiempo que el animal estuvo en contacto con cada tratamiento, en minutos, se utilizó para determinar COTECc, que es la relación entre el tiempo de consumo de cada tratamiento individual, dividido por el tiempo consumo promedio de los 8 tratamientos. Un tratamiento se dice que se le dedico más tiempo para consumirlo que a los demás por los animales, cuando COTECc es mayor que la unidad.

2.4.2.4 Coeficiente de preferencia de consumo calculado (COPCc)

El COPCc es la relación entre la frecuencia de preferencia de consumo de cada tratamiento individual, dividido por la frecuencia promedio de los 8 tratamientos. Un tratamiento se dice que es preferido más que los demás por los animales, cuando COPCc es mayor que la unidad.

2.4.2.5 Índice relativo de palatabilidad (IRP)

Los datos de consumo de MS se utilizaron para determinar IPR de los diferentes tratamientos. Para lo cual, el IRP para cada tratamiento, se obtuvo dividiendo la cantidad consumida entre el valor más alto de consumo, y se multiplico por 100 (Abdulrazak *et al.*, 2001).

2.5 Análisis estadísticos

Los datos de recolección, fueron analizados con un diseño en bloques al azar, considerando los efectos de sitio (San Cristóbal, Tequila y Teúl de González Ortega), relieve (montaña, lomerío y barranca) y periodo de recolección, considerando el sitio

como efecto de bloque. Para el análisis de la prueba de consumo y palatabilidad, se consideraron los efectos de nivel de inclusión de biomasa de *Q. rugosa* Née en la dieta, considerando al día y el animal como factor de bloque. Se utilizó el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (2000), se realizó un ANOVA. Cuando se observaron efectos significativos para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método Tukey usando la sentencia MEANS. Los valores de *P* observados se considerarán estadísticamente diferentes cuando $P < 0.05$.

3. Resultados y discusión

3.1 Efecto del relieve en el rendimiento y costo de recolección de biomasa de Quercus

La producción de MS por ha fue significativamente mayor en el relieve meseta comparado con barranca o lomerío, siendo estas últimas similares (Tabla 3.2). Resultados similares fueron reportados por Ramos (2002) al comparar la producción en superficies elevadas, con valles o escarpes. En contraste Merino y Martin (1980), reportaron producciones más elevadas en zonas bajas que en zonas altas. La recolección por hora de trabajo fue significativamente más elevada en la meseta o barranca, que en el lomerío. La recolección por jornada de trabajo tuvo un comportamiento similar al de la recolección por hora de trabajo. Los costos de recolección por kg de MS fueron significativamente más elevados en el lomerío y más reducidos en meseta o barranca. Y, como era de esperarse, los costos de recolección por tonelada de MS, fueron más elevados en lomerío y más bajos en meseta o barranca. Los costos de recolección y molido por kg de MS fueron

significativamente más elevados en el lomerío y más reducidos en meseta y barranca. Coincidiendo, los costos de recolección y molido por tonelada de MS que fueron más elevados en lomerío y más bajos en meseta o barranca.

Tabla 3.2. Productividad (materia seca, MS) y costos en moneda nacional (mn) de cosecha de biomasa de *Quercus rugosa* Née en diferentes relieves.

Concepto	Relieve			EEM
	Meseta	Lomerío	Barranca	
Producción, kg de MS ha ⁻¹	1,970 ^a	1,345 ^b	1,420 ^b	22.7
Recolección por hora de trabajo, kg de MS	146 ^a	92 ^b	123 ^a	11
Recolección por jornada de trabajo, kg de MS	878 ^a	550 ^b	767 ^a	39
Costo de recolección, kg de MS en mn	0.24 ^b	0.39 ^a	0.28 ^b	0
Costo de recolección, ton de MS en mn	244 ^b	393 ^a	279 ^b	16
Costo de recolección y molido, kg de MS en mn	0.35 ^b	0.50 ^a	0.39 ^b	0
Costo de recolección y molido, ton de MS en mn	354 ^b	503 ^a	389 ^b	16

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

3.2 Efecto del periodo de recolección en la producción de biomasa de *Quercus*

3.2.1 Producción de biomasa

La producción de MS fue significativamente mayor en la segunda y tercera colecta, comparadas con la primera o la última (Figura 1). En concordancia, Del Valle-Arango (2003) en bosques pantanosos reportó producciones por quincena de 243 a 510 kg de MS/ha, y Castellanos y León (2010) 431 kg en *Acacia mangium*. Asimismo, Quinto *et al.* (2007), señalan que los muestreos intermedios son los que

presentan las producciones más elevadas de biomasa, de 662 a 729 kg de MS/ha/15 días⁻¹. Además, Rocha-Loredo y Ramírez-Marcial (2009) reportan en bosques de *Quercus*, producciones de 274.2 kg de MS/ha/15 días⁻¹; y Santa Regina y Gallardo (1986) mencionan que *Q. pyrenaica* produce 234 kg de MS/ha/15 días⁻¹. Ramírez-Correa *et al.* (2007) en un bosque de *Q. humboldtii* Bonpl. observó producciones de 328.2 kg de MS ha⁻¹ 15 días⁻¹. En contraste, Vargas-Parra y Varela (2007) en un bosque de niebla, observaron producciones de 109 y Wilson *et al.* (1971) en *Q. wislizenii* 2,242 kg de MS ha⁻¹ 15 días⁻¹.

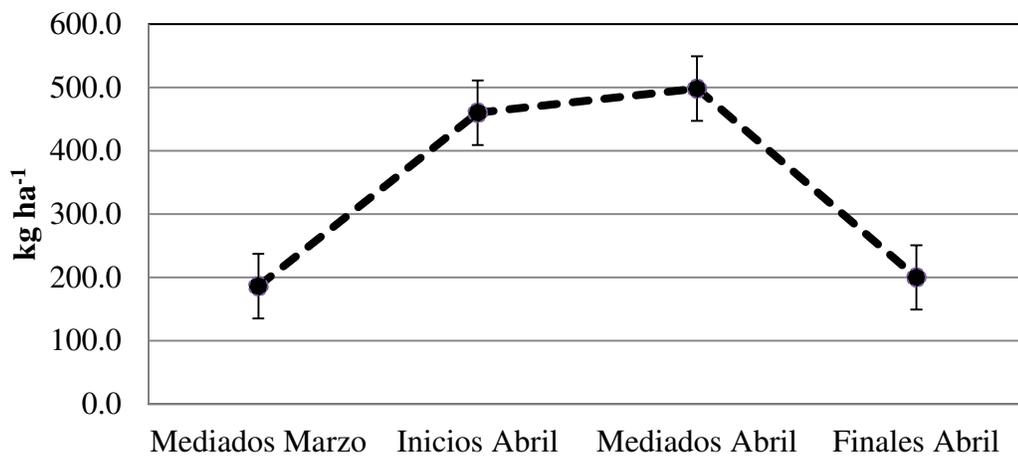


Figura 1. Evolución de la producción de materia seca de *Quercus rugosa* Née en diferentes recolecciones.

3.2.2 Composición química de las hojas

El contenido de EE aumento significativamente conforme avanzaba la defoliación, siendo la proporción más baja en la primera colecta y la más elevada en la tercera. Sin embargo, los TC fueron significativamente más elevados en la primera y segunda colectas, y más bajos en la tercera y cuarta. Resultados similares fueron reportados por Forwood y Owensby (1985) quienes mencionan que la concentración

de TC en *Q. macrocarpa* o *Q. alba* tiende a disminuir conforme aumenta el tiempo de muestreo. En este estudio los contenidos de MO, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, CNF, cenizas, EM, ENI y SCFA (Tabla 3.3) no fueron significativamente diferentes entre periodos de colecta. En contraste, Forwood y Owensby (1985) en *Q. macrocarpa* y *Q. alba* L., y Wilson *et al.* (1971) en *Q. wislizenii*, reportaron que la PC disminuyó con el tiempo.

Tabla 3.3. Medias de la composición química de la materia seca (MS) de *Quercus rugosa* Née en diferentes periodos de recolección.

Concepto	Periodos de recolección				EEM
	Mediados	Inicios	Mediados	Finales	
	Marzo	Abril	Abril	Abril	
Materia orgánica, %	94.3 ^a	94.0 ^a	94.4 ^a	94.2 ^a	0.1
Proteína cruda, %	3.9 ^a	3.9 ^a	3.7 ^a	3.7 ^a	0.1
Extracto etéreo, %	1.4 ^a	1.5 ^a	1.6 ^a	1.6 ^a	0.0
Fibra detergente neutro, %	58.0 ^a	58.2 ^a	58.8 ^a	57.4 ^a	0.4
Fibra detergente ácido, %	49.4 ^a	49.7 ^a	50.3 ^a	49.1 ^a	0.3
Hemicelulosa, %	8.6 ^a	8.6 ^a	8.5 ^a	8.3 ^a	0.2
Carbohidratos no fibrosos, %	30.9 ^a	30.3 ^a	30.2 ^a	31.4 ^a	0.5
Cenizas, %	5.7 ^a	6.0 ^a	5.6 ^a	5.8 ^a	0.1
Taninos condensados, %	2.6 ^a	2.6 ^a	2.4 ^b	2.3 ^b	0.1
Energía metabolizable, Mcal/kg ⁻¹ MS	1.5 ^a	1.5 ^a	1.5 ^a	1.6 ^a	0.1
Energía neta de lactancia, Mcal/kg ⁻¹ MS	0.7 ^a	0.7 ^a	0.7 ^a	0.8 ^a	0.1
Ácidos grasos de cadena corta, mmol	0.6 ^a	0.6 ^a	0.6 ^a	0.7 ^a	0.03

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

3.2.3 Dinámica de degradabilidad

Las fracciones rápida (**a**) y lentamente degradables (**b**), la degradabilidad potencial (**a + b**) y la degradabilidad efectiva de la MS, aumentaron conforme aumentó el tiempo de la defoliación (Tabla 3.4). Forwood y Owensby (1985) en muestras de *Q. macrocarpa* y *Q. alba* L. colectadas en sus diferentes etapas de defoliación, señalan en el primero y último muestreo son similares en su degradabilidad de la MS y más elevadas en los muestreos intermedios. En contraste, McLeod (1973) han documentado con otros árboles que no hay diferencias entre las fechas de muestreo; por otra parte, Wilson *et al.* (1971) en *Q. wislizenii*, observaron que esta se disminuía con el tiempo. Aparentemente, los valores más elevados de degradabilidad se encuentran asociados con bajos niveles de TC (Forwood y Owensby, 1985).

Tabla 3.4. Degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DMO), parámetros de la degradabilidad *in vitro* de la materia seca (MS) y degradabilidad efectiva de la MS de *Quercus rugosa* Née en diferentes periodos de recolección.

Parámetros de degradabilidad	Periodos de recolección				EEM
	Mediados	Inicios	Mediados	Finales	
	Marzo	Abril	Abril	Abril	
DMO, %	41.5 ^a	42.4 ^a	42.1 ^a	45.1 ^a	1.1
Fracción rápidamente degradable (a) %	-0.1 ^b	-0.1 ^b	0.1 ^{ab}	0.6 ^a	0.3
Fracción lentamente degradable (b), %	55.2 ^b	60.0 ^{ab}	60.3 ^{ab}	64.8 ^a	2.5
Constante de degradación de b (c), %	0.03 ^a	0.03 ^a	0.03 ^a	0.03 ^a	0.001
Degradabilidad potencial (a+b), %	55.1 ^b	59.9 ^{ab}	60.4 ^{ab}	65.5 ^a	2.7
Degradabilidad efectiva de la MS, %*	19.2 ^b	20.6 ^{ab}	20.6 ^{ab}	22.6 ^a	0.9

EEM= error estándar de la media.

*A una tasa constante de pasaje (kp) 0.05 h⁻¹.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

3.3 Consumo y palatabilidad

El consumo de MS fue significativamente más elevado en los animales con 0, 10, 20 y 30% de *Q. rugosa* Née, comparado con los de 40, 50, 60 y 70% que fueron más bajos (Tabla 3.5). Igualmente, Nastis y Malechek (1981) señalan que cuando se utiliza *Q. incana* con 25% en la dieta, aumentó el consumo de MS. Sin embargo, Telford *et al.* (1984) reportaron que el consumo de MS, en cabras, no cambió cuando se incluyeron 25 o 50% de *Quercus* spp de la dieta, pero si se redujo el consumo con el 75%. Sin embargo, Villena-Rodriguez (1987) reportó que el consumo de MS en cabras no fue afectado con niveles de 0, 25 y 50% de *Q. havardii* en la dieta. Yildiz *et al.* (2005) recomendaron que hasta un 50% del forraje puede sustituirse por follaje de *Q. hartwissiana* en dietas para corderos en finalización. Aparentemente, los niveles elevados de TC en las hojas redujeron significativamente el consumo voluntario de alimento, mientras niveles intermedios o bajos no parece afectarlo (Waghorn *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 1996a, b; Luque *et al.*, 1999; y Min *et al.*, 1999).

El COCc fue significativamente más elevado para los ovinos con 0, 10, 20 y 30% seguido 40, 50, 60 y 70% de *Q. rugosa* Née. Además, los valores de COCc fueron mayor a 1 en las dietas 0, 10, 20 y 30%, lo que pudiera implicar que estos animales tuvieron mejores consumos que los animales en las otras dietas (Tabla 3.5). El COTECC, COPCc e IPR tuvieron un comportamiento similar a COCc. Consumos elevados de taninos reducen la palatabilidad y en consecuencia el consumo (Silanikove *et al.*, 1996; Rogosic *et al.*, 2008). Provenza (2006) señala que los individuos pueden satisfacer mejor sus necesidades de nutrientes y regular su consumo de toxinas cuando se les ofrece una variedad de alimentos, que se diferencian en nutrientes y toxinas, que cuando se les ofrece un solo alimento

“nutricionalmente balanceado”. Igualmente, Alonso-Díaz *et al.* (2008) mencionan que los caprinos prefieren consumir cantidades de taninos en arbustivas como: *Acacia pennatula*, *Lisyloma latisiliquum*, *Piscidia piscipula* y *Leucaena leucucephala*, en lugar de consumir solamente una planta con escasa cantidad de taninos. Como se muestra en la Tabla 3.1, la dieta basal que se utilizó para esta prueba, contenía una alta concentración de PC (27.5%) lo que pudo haber estimulado el COPCc en los animales con niveles elevados de hojas de *Quercus*. Otros estudios (Banner *et al.*, 2000; Villalba *et al.*, 2002; y Nolte *et al.*, 2004) también reportaron que los rumiantes ingieren cantidades elevadas de alimentos que contienen compuestos antinutricionales cuando se les proporcionan dietas altas en PC.

Tabla 3.5. Consumo y palatabilidad de diferentes niveles de materia seca de *Quercus rugosa* Née en dietas de mantenimiento de hembras ovinas.

Concepto	Consumo de <i>Quercus rugosa</i> , %								EEM
	0	10	20	30	40	50	60	70	
Consumo de materia seca, %	66.5 ^a	71.3 ^a	59.7 ^a	60.3 ^a	44.6 ^b	29.7 ^c	26.9 ^c	29.8 ^c	3.1
Coefficiente de consumo calculado	1.5 ^a	1.6 ^a	1.2 ^{ab}	1.2 ^{ab}	0.8 ^{bc}	0.6 ^c	0.5 ^c	0.6 ^c	0.1
Coefficiente de tiempo efectivo de consumo calculado	1.5 ^a	1.6 ^a	1.0 ^{ab}	1.2 ^{ab}	0.9 ^{ab}	0.6 ^b	0.5 ^b	0.6 ^b	0.2
Coefficiente de preferencia de consumo calculado	2.1 ^b	4.2 ^a	0.3 ^c	0.4 ^c	0.2 ^c	0.2 ^c	0.0 ^c	0.4 ^c	0.3
Índice relativo de palatabilidad	90.8 ^{ab}	97.4 ^a	81.6 ^{ab}	82.4 ^{ab}	61.3 ^{bc}	41.1 ^c	37.1 ^c	41.0 ^c	7.3

EEM= error estándar de la media.

^{a, b, c} Literales diferentes en las hileras indican diferencias (P<0.05).

4. Conclusiones

La colecta de MS de *Q. rugosa* Née en las mesetas fue económicamente más factible debido a que la producción fue más elevada, lo que redujo los costos de cosecha y procesado. No se observó efecto de los periodos de colecta en la composición química de las muestras. La producción de MS y dinámica de degradabilidad fueron más elevados en el segundo y tercer periodo de colecta. Las hojas de *Q. rugosa* Née se pueden incluir en dietas de ovejas en mantenimiento hasta en un 30%, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo.

Reconocimientos

El autor agradece a los pobladores de la región Sur de Zacatecas y Norte de Jalisco, especialmente a José Félix Carrillo Lamas y Ma. Consuelo Muro Saldaña, por la gran ayuda que prestaron para realizar este proyecto e interés en la conservación y mejoramiento de los usos de *Quercus* en la ganadería sustentable.

Referencias

- Abas, I., H. Ozpinar, K.H. Can y R. Kahraman. 2005. Determination of the metabolizable energy (ME) and net energy actation (NEL) contents of some feeds in the marmara region by in vitro gas technique. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 29: 751-757.
- Abdulrazak, S.A., J. Nyangaga y T. Fujihara. 2001. Relative palatability to sheep of some browse species their *in sacco* degradability and *in vitro* gas production characteristics. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 14, No. 11:1580-1584.

- Alonso-Díaz, M.A., J.F.J. Torres-Acosta, C.A. Sandoval-Castro, H. Hoste, A.J. Aguilar-Caballero y C. Capetillo-Leal. 2008. Is goats' preference of forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments? *Anim. Feed Sci. Tech.* 141: 36-48.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*, 14th Ed. The Association: Arlington, VA.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Banner, R.E., J. Rogosic, E.A. Buritt y F.D. Provenza. 2000. Supplemental barley and activated charcoal increase intake of sagebrush by lambs. *J. Range. Manage.* 53:415-420.
- Bray, J. y E.Gorham. 1964. Litter production in forest of the world. In: *Advances in ecological research*. The Nature Conservancy Merlewood Research Station. Cragg, J. (ed.). First edition. Academic Press. Grangeover-sands, Lancashire, England, vol. 7, 101-157.
- Bruce, R.C. y J.P. Ebershon. 1982. Litter measurements in two grazed pastures in south-east Queensland. *Tropical Grasslands*. 16:180
- Castellanos, J. y J.D. León. 2010. Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (mimosaceae) de Antioquia, Colombia. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 15, pp. 289 – 308.
- CONABIO. 2010. *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 197 pp. México D.F., México.

- CONAFOR, 2009. Programa Nacional de Protección contra incendios Forestales. Comisión nacional Forestal. SEMARNAT. México.
- De la Paz P.O.C., A.R. Campos, A.I. Quintanar y R.S. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. *Madera y Bosques* 4 (2):45-65.
- Del Valle-Arango, J.I. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico sur colombiano. *INCI*. 28(8): 443-449.
- Donoso, C. 1993. Producción de semillas y hojarasca de las especies del tipo forestal Alerce (*Fitzroya cupressoides*) de la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 53-64.
- Fang, J.Y., G.H. Liu, B. Zhu, X.K. Wang y SH. Liu. 2007. Carbon budgets of three temperate forest ecosystems: In Dongling Mt., Beijing, China. *Sci China Ser D-Earth Sci* 50:92–101.
- Finotti, R., S.R. Freitas, R. Cerqueira y M.V. Vieira. 2003. A method to determine the minimum number of litter traps in litterfall studies. *Biotropica* 35:419–421.
- Forwood, J.R. y C.E. Owensby. 1985. Nutritive value of tree leaves in the Kansas Flint Hills. *J. Range. Manage.* 38(1):61-64.
- Ganguli, A.C., M.B. Hale y K.L. Launchbaugh. 2010. Seasonal change in nutrient composition of spotted knapweed and preference by sheep. *Small Rum. Res.* 89, 47–50.
- INEGI. 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tequila, Jalisco. Clave Geoestadística 14094.

- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Teúl de González Ortega. Clave Geoestadística 32047.
- INEGI. 2009c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Cristóbal de la Barranca, Jalisco. Clave Geoestadística 14071.
- Luque, A., T.N. Barry, W.C. McNabb, P.D. Kemp y M.F. McDonald. 1999. The effect of length feeding on *L. corniculatus* during late summer/autumn upon reproductive efficiency and wool production in ewes. Asian-Aust. J. Anim. Sci.
- Makkar, H.P.S. 2005. *In vitro* gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. Anim. Feed Sci. Technol. 123-124: 291-302.
- McLeod, M.N. 1973. The digestibility and the nitrogen, phosphorus and ash contents of the leaves of some Australian trees and shrubs. Aust. J. Exp. Agr. and Anim. Husb. 13:245-250.
- Menke K.H. y H. Steingass. 1998. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Develop. 28: 7-55
- Menke, K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz y W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. J. Agric. Sci. 92: 217 -222.
- Merino, O. y A. Martin. 1980. Producción de hojarasca en dos formaciones de matorral del SW. Español. Lagasalia. 15: 535-540.

- Min, B.R., W.C. McNabb, T.N. Barry, P.D. Kemp, G.C. Waghorn y M.F. McDonald. 1999. The effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon reproductive efficiency y wool production in sheep Turing late summer y autumn. J. Agr. Sci. 132, 323-334.
- Nastis, A.S. y J.C.Malechek. 1981. Digestion and utilization of nutrients in oak browse by goats. J. Anim. Sci. 53(2):283-290.
- Nolte, D.L., B.A. Kimball, K.R. Perry, J.J. Villalba y F.D. Provenza. 2004. Effects of forage nutritional quality (energy and protein) on deer acceptance of foods containing secondary metabolites. USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications. Pp. 374.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA. National Academy Press.
- Ørskov, E.R. y L.M. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92: 499-503.
- Porter, I.J., L.N. Hirstich y B.G. Chan.1986. The conversion of procyanidin and prodelphinindins. Phytochemistry 25, 223–230.
- Provenza, F.D. 2006. Behavioral mechanisms in influencing use of plants with secondary metabolites by herbivores. BSAS Publication 34. The assessment of intake, digestibility and the roles secondary compounds. Edited by C.A. Sandoval-Castro, D. Hovell, J.F.J. Torres Acosta y A. Ayala-Burgos. Nottingham University Press. Pp. 183-195.
- Quinto, M.H., P.Y.A. Ramos y D.B. Abadía. 2007. Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial

- tropical en Salero, Chocó, Colombia. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó D.L.C. No. 26. Pp.28-41.
- Ramírez-Correa J.A., C.M. Zapata-Duque, J.D. León-Peláez y M.I. González-Hernández. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de piedras blancas, Antioquia, Colombia. INCI. 32(5): 303-311.
- Ramos, C.M. 2002. Producción de hojarasca en *Dodonaea viscosa* (sapindaceae): un mecanismo que facilita la sucesión primaria. Acta Biológica Colombiana, Vol. 7 pp. 53-56.
- Read, L., y D. Lawrence. 2003. Litter nutrient dynamics during succession in dry tropical forests of the Yucatan: regional and seasonal effects. Ecosystems 6:747–761.
- Rocha-Loredo, A.G. y N. Ramírez-Marcial. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del Bosque de pino-encino en Chiapas, México. Bol. Soc. Bot. Méx. 84: 1-12.
- Rogosic, J., J.A. Pfister, F.D. Provenza y J. Pavlicevic. 2008. The effect of polyethylene glycol on intake of Mediterranean shrubs by sheep and goats. J. Anim. Sci. 86, 3491-3496.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Santa Regina, I. y J.F Gallardo. 1986. Producción de hojarasca en tres bosques de la sierra de Bejar (Salamanca). Boletín de la Estación Central de Ecología. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Año XV. No. 30. Pp. 57-63.

- SAS, 2000. SAS/STAT® User's Guide (8.1Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Silanikove, N., N. Gilboa, I. Nir, A. Perevolotsky y Z. Nitsan. 1996. Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. J. Agric. Food Chem. 44: 199-205.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox y J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 2. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562–3577.
- Stiling, P. 1996. Ecology: theories and application. Second edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 539 pp.
- Telford, J.P., M.M. Kothmann, R.T. Hinnant y K.R. Ngugi. 1984. Nutritive value of alfalfa and live oak leaves for goats. Sheep and goat, wool and mohair. National Agricultural Library Catalog (AGRICOLA). Pp 10.
- Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan y J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim. Feed. Sci. and Technol. 48:185-197.
- UNESCO/PNUMA/FAO. 1980. Producción primaria bruta y neta, parámetros de crecimiento. En: Ecosistemas de los bosques tropicales. UNESCO-CIFCA. Madrid, España, 265-282.
- Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Bol. Soc. Bot. México 75:33-53.

- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber y nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.
- Vargas-Parra, L. y A.Varela. 2007. Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia). *Univ. Scient.* 12: 35-49.
- Villalba, J.J., F.D. Provenza y R.E. Banner. 2002. Influence of macronutrients and activated charcoal on intake of sagebrush by sheep and goats. *J. Anim. Sci.* 80:2099-21091.
- Villena-Rodriguez, F. 1987. Nutrition of goats grazing sand shinnery oak (*Quercus havardii*) ranges in West Texas. A Thesis in Range Science. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. Pp. 46-62.
- Vitousek, P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *Am Nat* 119:553–572.
- Waghorn, G.C., I.D. Shelton, W.C. McNabb y S.N. McCutcheon. 1994. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci.* 123, 109-119.
- Wang, Y., G.B. Douglas, G.C. Waghorn, T.N. Barry y A.G. Foote. 1996a. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agr. Sci. Camb.* 126: 353-362.
- Wang, Y., G.C.Waghorn, W.C. McNabb, T.N. Barry, M.J. Hedley e I.D. Shelton. 1996b. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. *J. Agr. Sci. Camb.*, 127: 413-421.

- Wilson, A.D., W.C. Weir y D.T. Torell. 1971. Evaluation of chamise (*Adenostoma fasciculatum*) and interior live oak (*Quercus wislizenii*) as feed for sheep. *J. Anim Sci.* 32:1042-1045.
- Yang, W.Q., K.Y. Wang, S. Kellomaki y J. Zhang 2006. Annual and monthly variations in litter macronutrients of three subalpine forests in Western China. *Pedosphere.* 16:788–798.
- Yang, Y.S., J.F. Guo, G.S. Chen, J.S. Xie, L.P. Cai y P. Lin. 2004. Litterfall, nutrient return, and leaf-litter decomposition in four plantations compared with a natural forest in subtropical China. *Ann For Sci.* 61:465–476.
- Yildiz, S., I. Kaya, Y. Unal, D. Aksu Elmali, S. Kaya, M. Censiz, M. Kaya y A. Oncuer. 2005. Digestion and body weight change in Tuj lambs receiving oak (*Quercus hartwissiana*) leaves with and without PEG. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 122: 159-172.
- Zhou, G., L. Guan, X. Wei, D. Zhang, Q. Zhang, J. Yan, D. Wen, J. Liu, S. Liu, Z. Huang, G. Kong, J. Mo y A.Yu. 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecol.* 188:77–89.

CAPÍTULO 4.

EXPERIMENTO 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DEGRADABILIDAD *IN SITU* DE LAS HOJAS DE *Quercus rugosa* Née TRATADAS CON UREA Y MELAZAS

O. Carrillo-Muro ^{a,b}, R.G. Ramírez ^b, A. Rivera-Villegas ^a, P. Hernández-Briano ^{a,b},
M.A. López-Carlos ^a, C.R. Rivera-Méndez ^c, H. Gutiérrez-Bañuelos ^a, J.I. Aguilera-
Soto ^{a,*}

^a Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Panamericana
Zacatecas-Fresnillo Km 31.5, Gral. Enrique Estrada, Zacatecas, 98560, México

^b Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Universidad S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás
de los Garza, Nuevo León, 66450, México

^c Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Laguna Campestre s/n,
Mexicali, 21100, Baja California, México

* Autor de correspondencia. Tel.: +52 478 9850202/492 1378304

Dirección de e-mail: aguilaivan@yahoo.com.mx

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del uso de urea (0, 2, 4 y 6%) y melazas (0, 15, 30, 45%) en las hojas de *Quercus rugosa* Née, sobre la composición química y degradabilidad *in situ* de la materia seca (DISMS). La energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia y la degradabilidad de la materia orgánica (DMO) y los ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés) fueron determinados a partir de los datos de producción de gas *in vitro*. Las hojas

fueron colectadas en tres sitios: el sitio 1 en el municipio de Tequila, Jalisco, México. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México. El sitio 3 en el municipio de San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México. En general, los contenidos de MO, FDN y FDA disminuyeron conforme se aumentaron los niveles de melaza en las mezclas. Sin embargo, la PC, CNF, cenizas, EM, ENI y SCFA tuvieron un comportamiento contrario. La DIVMO se elevó a medida que se elevaba la inclusión de melazas. La fracción **a**, en todas las mezclas con melazas, fue más elevada con urea al 6% comparada con los otros porcentajes de urea. Sin embargo, la fracción lentamente degradable **b**, en general, fue mayor al 4% de urea. La constante de degradación **c** fue variable en todos los tratamientos. La degradabilidad potencial (**a + b**) tuvo un comportamiento similar a la fracción **a**. En todas las mezclas con melazas, la adición de urea al 4 o 6% tuvieron una mayor composición química y degradabilidad *in situ*.

Palabras clave: *Quercus rugosa* Née; composición química; degradabilidad *in situ* de la materia seca; melazas; urea.

1. Introducción

En los últimos años, el uso de residuos forestales para la alimentación de rumiantes se ha centrado, principalmente, en encontrar alternativas para su uso como fuente de forraje y al mismo tiempo que sea de bajo costo. Las hojas de los árboles son consideradas como biomasa, y esta cae por toneladas al suelo, todos los años, y los productores ignoran que puede ser una alternativa de forraje para rumiantes.

Las hojas de *Q. rugosa* Née se podrían utilizar, ya que su defoliación es durante los meses de marzo y abril, que coincide con la época seca y la baja disponibilidad de forrajes para rumiantes; y las sustancias antinutricionales que contiene en cantidades moderadas, podrían presentar efectos benéficos en los animales. Además, son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México; ya que ocupan el 5.5% de la superficie del país (De la Paz *et al.*, 1998). Y se estima que en el mundo hay de 400 a 500 especies aproximadamente, encontrándose en México 161, las cuales representan del 32.2 al 40.2% en el mundo y el 68.8% en América (Valencia, 2004).

Sin embargo, la biomasa de *Quercus* que proviene de la defoliación, son hojas maduras, entonces su composición de carbohidratos estructurales es muy elevada y la proteína y energía muy baja, por cual presenta una baja degradabilidad. Por lo tanto, existe la necesidad de proporcionarle un tratamiento químico a la biomasa con la finalidad de aumentar la solubilidad de la fibra, la lignina y otros carbohidratos estructurales al romper los enlaces que unen estas biomoléculas (Conrad y Pastrana, 1989; Reis *et al.*, 1995).

La urea, en combinación con melaza, ha sido el compuesto nitrogenado más usado para mejorar la utilización de forrajes fibrosos. Varios investigadores han reportado efectos benéficos en cuanto al aumento de la degradabilidad de pajas de trigo, cebada y avena (Horton, 1978; Horton y Steacy, 1979; Alibés *et al.*, 1984; Givens *et al.*, 1988; Souza y Dos Santos, 2002; y Montiel *et al.*, 2012).

Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue determinar el efecto de la inclusión de urea (0, 2, 4 y 6%) y melaza (0, 15, 30 y 45%) a las hojas de *Q. rugosa* Née, sobre la composición química, degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y

parámetros de degradabilidad *in situ*. Para determinar los efectos de la urea y las melazas, en la composición nutrimental se eligieron, las variables energía metabolizable, energía neta de lactancia, proteína cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulosa, carbohidratos no fibrosos, ácidos grasos de cadena corta, materia orgánica y cenizas. Para evaluar el efecto en la dinámica de degradabilidad, se usaron las siguientes variables: degradabilidad de la materia orgánica, fracciones rápidamente (**a**) y lentamente (**b**) degradables, constante de degradación (**c**) de **b** y degradabilidad potencial (**a+b**).

2. Métodos

2.1 Área de estudio

Los sitios donde se recolectó la biomasa de *Q. rugosa* Née se encuentran dentro de una zona que presenta el tercer lugar a nivel nacional, en afectación por incendios forestales (CONAFOR, 2009). Se eligieron tres sitios de muestreo, caracterizados por un mismo patrón, de relieve, climático, edafológico y de vegetación. En cuanto al relieve, está clasificado como Sierra con mesetas, con un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Predomina la clase de roca ígnea extrusiva, y los suelos leptosol y phaeozem. En lo referente a la vegetación, abunda el pastizal y los bosques. El sitio 1 estuvo ubicado en el municipio de Tequila, Jalisco, México, que se ubica entre los paralelos 21°15'07.30" de latitud Norte y los meridianos 103°39'48.12" de longitud Oeste; a una altitud de 1,617 msnm. El sitio 2 se localizó en el municipio del Teúl de González Ortega, Zacatecas, México, ubicado entre los paralelos 21°17'46.02" de latitud Norte y los meridianos 103°34'52.03" de longitud Oeste; a una altitud de 1,997 msnm. El sitio 3 se localizó en el municipio de

San Cristóbal de La Barranca, Jalisco, México, ubicado entre los paralelos 21°11'30.14'' de latitud Norte y los meridianos 103°35'59.00'' de longitud Oeste; a una altitud de 1,738 msnm (INEGI, 2009 a, b y c).

Los trabajos de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAMVZ-UAZ), ubicada en el Km. 31.5 de la Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo; a 22°58' latitud Norte y 103°30' longitud Oeste, a una altitud de 2,153 msnm.

2.2 Recolección y procesado de las hojas

Las hojas de *Q. rugosa* Née fueron recolectadas durante la segunda semana de marzo de los años 2012 y 2013. La cosecha se realizó usando 15 personas, directamente del suelo, con la ayuda de rastrillos manuales. Las hojas una vez apiladas en forma de cordones, cada individuo procedió a recogerlas en sacos de polietileno de 1.4 × 1.0 m.

El molido se realizó con un tractor New Holland 7610S 4WD Doble (potencia: al motor 105 hp y a la toma de fuerza 90.4 hp) y un molino marca Azteca No. 24, con una criba con perforación de 2". Este proceso se llevó a cabo con la ayuda de 4 personas: 2 que alimentaban y controlaban el flujo de la biomasa al molino, otro que recibía y encostaba el alimento molido, y uno más que retiraba los sacos llenos y los almacenaba. Antes de almacenarlos estos eran identificados por sitio.

2.3 Aplicación de urea y melazas a las hojas

2.3.1 Tratamientos

Se prepararon dieciséis mezclas (tratamientos), que consistieron en hojas de *Q. rugosa* Née con cuatro niveles de urea (0, 2, 4 y 6%) y cuatro de melaza de 85 °Brix (0, 15, 30 y 45%).

2.3.2 Mezclado de ingredientes

Las hojas utilizadas para cada tratamiento se tomaron de los sacos de cada sitio y se pesaron en partes iguales y se homogenizaron. Posteriormente, se realizó una mezcla con los ingredientes y niveles descritos anteriormente, con la ayuda de un mezclador de paletas horizontal con capacidad de 100 kg. Como primer paso se agregó la biomasa, posteriormente la urea diluida en agua y por último la melaza, se homogenizo la mezcla completamente.

La mezcla se introdujo en “microsilos” de PVC (policloruro de vinilo) de 2” de diámetro y 30” de longitud, sellados en un extremo (debidamente identificados), usando cuatro repeticiones por tratamiento (64 microsilos). Los microsilos se llenaron con 1.5 kg de cada mezcla, la cual fue compactada, y por último se cerro con una bolsa negra de polietileno y una liga elástica.

Una vez realizado el procedimiento anterior, los se microsilos se almacenaron a temperatura ambiente por 28 días. Pasado este periodo, se abrieron y se extrajo el contenido y se homogenizo el de cada tratamiento. El contenido fue secado en una estufa de aire circulante a 60°C por 48 h y se molió en un molino “Wiley”, una parte del tratamiento con una criba de 1 mm y la otra con la de 2 mm. Por último, estas

muestras nuevamente se secaron por 60°C por 24 h y se almacenaron en frascos herméticos para realizar los análisis que enseguida se describen.

2.4 Análisis químicos

A los 16 tratamientos se les realizaron los siguientes análisis por triplicado: proteína cruda (PC), cenizas (AOAC, 1995), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA; Van Soest *et al.*, 1991). La hemicelulosa (FDN – FDA) y MO (MS – cenizas) se determinaron por diferencia. Los carbohidratos no fibrosos (CNF) fueron calculados como: $CNF = MS - (PC + FDN + EE + cenizas)$; Sniffen *et al.*, 1992). Para la determinación de PC se utilizó el método de análisis por combustión o método Dumas, AOAC 990.03 (AOAC, 1984), con el determinador de Nitrógeno/Proteína FP-528 de la compañía LECO Corporation (St. Joseph, MI, 2002). El extracto etéreo (EE) fue determinado usando el extractor Ankom^{xt15} (AOCS Official Procedure AM 5-04, NY, USA), con éter de petróleo como solvente en la extracción a alta temperatura. La concentración de taninos condensados (TC) se estimó mediante el método de butanol-HCl (Porter *et al.*, 1986).

2.5 Cálculo de la energía metabolizable y neta de lactancia, degradabilidad de la materia orgánica, y ácidos grasos de cadena corta

Por medio de la técnica de producción de gas *in vitro*, se determinó la energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (ENL), degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y ácidos grasos de cadena corta (SCFA).

La producción de gas *in vitro* se utilizó fluido ruminal de 3 ovinos de pelo canulados alimentados con una dieta que contenía 83% de heno (50% de alfalfa y

50% de paja de trigo) y 17% de concentrado (63% de maíz molido, 25% de harinolina, 5.5% de carbonato de calcio, 5.5% de fosfato monocálcico), 0.5% premezcla de vitaminas A, D y E, y 0.5% de microminerales, conteniendo (NRC, 2007): 12.8 % de PC, 2.34 Mcal/kg de EM y 64.60% de TND. El alimento se proporcionó *ad libitum* diariamente a las 0800 y 1600 con acceso libre al agua. La producción de gas se determinó por el método propuesto por Theodorou *et al.* (1994) para lo cual se utilizaron Unidades de Fermentación de 120 ml (UF) para cada muestra, por cuadruplicado, se introdujeron 700 \pm 10 mg de MS de cada una de las muestras en las UF, a las cuales posteriormente se les adicionaron 90 ml de solución buffer gaseado con CO₂ y se guardaron en refrigeración (4° C) por 12 h; al día siguiente se tomaron 700 ml de líquido y 200 g aproximadamente de sólido del contenido ruminal. En el laboratorio se filtró a través de cuatro capas de gasa y posteriormente por lana de vidrio, manteniéndose el líquido a 39° C que fue gaseado con CO₂, en seguida se adicionó a cada UF 10 ml de fluido ruminal. Finalmente, las UF se introdujeron a un baño de agua a 39° C y se inició el registro de la producción de gas utilizando un transductor de presión (SPER SCIENTIFIC, manómetro 840065 con un medidor de presión TA87199). La presión de gas producido fue determinado en PSI (del inglés, Pounds-force per Square Inch), a las 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h de incubación.

Para correcciones por contaminación con el contenido ruminal se utilizaron tres UF sin sustrato como blancos; además, se usaron tres UF de paja de frijol, tres con paja de frijol + maíz molido y 3 con concentrado, como estándares. Las lecturas de presión (PSI) fueron convertidas en volumen (ml) usando una regresión lineal preestablecida entre las presiones registradas en este tipo de UF y volúmenes

conocidos de aire inoculados a la misma temperatura de incubación, como:
Volumen= (Presión-0.4009)/0.3853; R=0.9959; EEM=0.0522; y n=72.

Dado que la producción de gas es proporcional a la MS degradada, se usó la producción neta de gas a las 24 h de incubación del sustrato a partir de la obtenida por 700 ± 10 mg MS (Menke *et al.*, 1979) para calcular la energía metabolizable (EM, Mcal/kg⁻¹ MS) y degradabilidad de la materia orgánica (DMO, %) usando las ecuaciones propuestas por Menke y Steingas (1998), de la siguiente manera:

$$EM \text{ (Mcal/kg}^{-1} \text{ MS)} = (2.20 + 0.136 \times PG_{24h} + 0.057 \times PC + 0.0029 \times EE^2) / 4.184$$

$$DMO, \% = 14.88 + 0.889 \times PG_{24h} + 0.045 \times PC + 0.0651 \times XA.$$

La energía neta de lactancia (ENI, Mcal/kg⁻¹ MS) fue calculada con la ecuación propuesta por Abas *et al.* (2005):

$$ENI \text{ (Mcal/kg}^{-1} \text{ MS)} = (0.115 \times PG_{24h} + 0.0054 \times PC + 0.014 \times EE - 0.0054 \times XA - 0.36) / 4.184$$

Los ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés) fueron calculados usando la ecuación de Makkar (2005):

$$SCFA \text{ (mmol)} = 0.0222 \times PG_{24h} - 0.00425$$

Donde, PG_{24h}= producción neta de gas a las 24 h (ml/700 mg); PC = proteína cruda; EE= extracto etéreo; y XA= contenido de ceniza.

2.6 Dinámica de degradabilidad in situ

La técnica de la bolsa de nylon (Ørskov, 2000) se utilizó para evaluar la degradabilidad de la MS de los tratamientos. Los tratamientos (5 g) se incubaron en el rumen de cinco ovinos machos equipados con cánula ruminal, para lo cual se suspendieron en la parte ventral del rumen durante 0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h de incubación. Las muestras fueron introducidas en orden inverso al tiempo de incubación para ser retiradas posteriormente todas en conjunto. Las bolsas correspondientes al tiempo cero se introdujeron y se sacaron inmediatamente, con la finalidad de humedecerlas con líquido ruminal (Nocek, 1988). Con los datos obtenidos, para determinar los parámetros de degradabilidad *in situ* y tasas de pasaje, se utilizó el programa computacional Neway (Cheng, 1997), con la ecuación propuesta por (Ørskov y McDonald, 1979).

2.7 Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (4×4), considerando los efectos de nivel de urea (0, 2, 4 y 6%) y melaza (0, 15, 30 y 45%) como efectos principales. Se utilizó el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (2000), se realizó un ANOVA. Cuando se observaron efectos significativos para los efectos evaluados, se realizó una comparación de medias con el método Tukey usando la sentencia MEANS. Los valores de *P* observados se considerarán estadísticamente diferentes cuando $P < 0.05$.

3. Resultados y discusión

3.1 Composición química de las hojas

El contenido de MO fue significativamente mayor en la biomasa de *Q. rugosa* que no se le incluyó melaza, sin embargo, esta se redujo de manera proporcional a como se aumento la inclusión de melaza (Tabla 4.1). Con las cenizas, sucedió todo lo contrario que con la MO, fue menor en la biomasa que no se le incluyó melaza, y aumentaron conforme se le incluyó más melaza. Respecto a cenizas, Araiza-Rosales *et al.* (2013) con ensilado de maíz adicionado con 0, 5 y 10% de melaza, observaron que aumento la concentración. La proporción de PC fue mayor con el 45% de melaza y 6% de urea, y se fue reduciendo de manera significativa a medida que se disminuía la inclusión de melaza y urea. En contraste, Vallejo-Solís (1995) señalan que en follaje de arboles y arbustos, conforme se aumenta la inclusión de melaza se reduce el contenido de PC. El EE se redujo de manera significativa, en los diferentes niveles de melaza, conforme se aumento la inclusión de urea. La FDN y la FDA fue más elevada en 0 y 15% de melaza, que en 30 y 45%, sin embargo, dentro de un mismo nivel de esta, no tuvo efecto en el contenido de estos carbohidratos. En concordancia, Araiza-Rosales *et al.* (2013) con ensilado de maíz adicionado con 0, 5 y 10% de melaza, observaron que se redujo la concentración de carbohidratos estructurales. La hemicelulosa fue significativamente menor con el 0 y 15% de melaza, y en 30 y 45% cuando se incluyeron niveles bajos de urea (0 y 2%). Los CNF fueron más bajos con la inclusión de 0 y 15% de melaza, y más elevados con 30 y 45%, sin embargo, dentro un mismo nivel de melaza, se observó que conforme se aumentaba la inclusión de urea se reducía la concentración de CNF.

Tabla 4.1. Valor nutricional de biomasa de *Quercus rugosa* Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.

Valor nutricional	0% de melaza				15% de melaza				30% de melaza				45% de melaza				EEM
	Urea, %																
	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	
Materia orgánica, %	92.2 ^d	93.7 ^b	93.9 ^{ab}	94.2 ^a	92.1 ^{de}	92.7 ^c	92.7 ^c	92.8 ^c	90.7 ⁱ	91.3 ^g	91.7 ^f	91.9 ^{ef}	91.0 ^{hi}	91.1 ^{hg}	90.9 ^{hi}	91.1 ^{hg}	0.05
Proteína cruda, %	1.9 ^k	7.5 ^h	11.7 ^e	17.2 ^c	2.7 ^j	7.9 ^h	12.0 ^e	17.8 ^b	3.6 ⁱ	8.5 ^g	13.2 ^d	17.9 ^{ab}	8.9 ^g	9.4 ^f	13.4 ^d	18.2 ^a	0.08
Extracto etéreo, %	1.6 ^a	1.4 ^{bc}	1.1 ^{def}	0.9 ^f	1.5 ^{ab}	1.3 ^{bcd}	1.0 ^{ef}	1.1 ^f	1.4 ^{bc}	1.3 ^{bcd}	1.2 ^{cde}	1.2 ^{cde}	1.3 ^{bc}	1.2 ^{cde}	1.2 ^{cde}	1.2 ^{cde}	0.04
Fibra Detergente neutro, %	67.7 ^{ab}	70.3 ^a	69.7 ^a	69.5 ^a	63.6 ^{bcd}	62.7 ^{bcde}	67.3 ^{ab}	64.2 ^{bc}	59.1 ^{cde}	58.5 ^{def}	59.8 ^{cde}	58.0 ^{ef}	53.8 ^{fg}	60.1 ^{cde}	57.6 ^{efg}	52.6 ^g	0.9
Fibra Detergente ácido, %	62.1 ^{ab}	64.1 ^a	64.7 ^a	64.8 ^a	57.9 ^{bc}	56.6 ^{bcd}	60.2 ^{ab}	56.3 ^{bcde}	53.0 ^{cdef}	53.5 ^{cdef}	52.0 ^{cdef}	50.5 ^{ef}	48.6 ^g	51.8 ^{def}	49.8 ^g	44.4 ^g	1.0
Hemicelulosa, %	5.6 ^{bcd}	6.2 ^{abcd}	4.9 ^d	4.7 ^d	5.6 ^{bcd}	6.1 ^{abcd}	7.0 ^{abcd}	7.9 ^{ab}	6.1 ^{abcd}	5.0 ^d	7.7 ^{ab}	7.4 ^{abc}	5.2 ^{cd}	8.3 ^a	7.8 ^{ab}	8.2 ^a	0.4
Carbohidratos no fibrosos, %	20.90 ^{bcd}	14.3 ^{fg}	11.4 ^{fgh}	6.4 ^h	24.1 ^{ab}	20.6 ^{bcd}	12.4 ^{fg}	9.7 ^{hg}	26.7 ^a	22.8 ^{abc}	17.6 ^{cd}	14.8 ^{ef}	26.8 ^a	20.3 ^{bcd}	18.9 ^{cde}	19.0 ^{cde}	0.90
Cenizas, %	7.8 ^e	6.3 ^g	6.0 ^{gh}	5.8 ^h	8.0 ^{de}	7.33 ^f	7.3 ^f	7.2 ^f	9.3 ^a	8.7 ^c	8.2 ^d	8.0 ^{de}	9.0 ^{ab}	8.9 ^{bc}	9.1 ^{ab}	8.9 ^{bc}	0.05
Energía metabolizable, Mcal kg⁻¹ MS	0.8 ^h	1.0 ^{efgh}	0.9 ^{gh}	0.9 ^{gh}	1.0 ^{efgh}	1.3 ^{cde}	1.0 ^{efgh}	1.1 ^{defg}	1.6 ^{abc}	1.4 ^{bcd}	1.2 ^{defg}	1.2 ^{def}	1.8 ^a	1.6 ^{ab}	1.2 ^{def}	1.4 ^{bcd}	0.06
Energía neta de lactancia, Mcal kg⁻¹ MS	0.1 ^{fg}	0.2 ^{efg}	0.1 ^{fg}	0.05 ^g	0.3 ^{def}	0.5 ^{cde}	0.2 ^{efg}	0.2 ^{efg}	0.8 ^{ab}	0.5 ^{bcd}	0.3 ^{def}	0.3 ^{def}	0.9 ^a	0.7 ^{abc}	0.3 ^{def}	0.5 ^{bcd}	0.05
Ácidos grasos de cadena corta, mmol	0.1 ^e	0.1 ^e	0.1 ^e	0.1 ^e	0.3 ^{cde}	0.4 ^{bcd}	0.2 ^{de}	0.2 ^{de}	0.7 ^b	0.4 ^{abc}	0.3 ^{cde}	0.3 ^{cde}	0.8 ^a	0.6 ^{ab}	0.3 ^{cde}	0.4 ^{bcd}	0.05

EEM= error estándar de la media.

a, b, c Literales diferentes entre hileras indican diferencias (P<0.05).

Con EM, ENI y ácidos grasos de cadena corta, se observó que fueron más bajos con el 0% de melaza, seguido de 15, 30 y 45%; además dentro del mismo nivel de melaza se encontró que al aumentar la urea se reducían estos tres parámetros. Araiza-Rosales *et al.* (2013) con inclusiones de 0, 5 y 10% de melaza no observaron diferencias en EM. Shultz *et al.* (1971) mencionan que con *Panicum muximum Jacq in vivo* los ácidos grasos de cadena corta aumenta significativamente, cuando a bovinos se les proporciono un suplemento a base de melaza que contenía 2.4% de urea.

3.2 Dinámica de degradabilidad

La DIVMO se elevó a medida que se aumentaba la inclusión de melaza (Figura 1). Shultz *et al.* (1971) mencionan que con *Panicum muximum Jacq* la degradabilidad *in vivo* de la MO no mejoro cuando se proporciono un suplemento a base de melaza que contenía 2.4% de urea. Sin embargo, Pinto-Hernández *et al.* (1994) con este mismo pasto, pero agregando 2, 4 o 6% de urea observó incrementos. Igualmente con amonificados con el 3.5% de amoniaco anhídrido observaron aumentos en la degradabilidad *in vivo* de la MO por bovinos y ovinos, con pajas de: trigo, cebada y avena; y con paja de cebada con el 4 y 6% de urea (Horton, 1978; Horton y Steacy, 1979; Alibés *et al.*, 1984; Givens *et al.*, 1988; y Souza y Dos Santos, 2002). También con ensilados de sorgos taniniferos adionados con el 2% de urea se observaron incrementos (Montiel *et al.*, 2012).

Con el 0% de melaza se observó que la inclusión 0, 2 y 4%% de urea no aumentan la fracción rápidamente degradable (a), sin embargo, cuando se agrega el 6% el valor se eleva. Con el 15 y 45% de melaza, se observó que a medida que

aumentaba la inclusión de urea aumentaba el valor de esta fracción. Con el 30% de melaza, lo valores de la fracción a fueron estadísticamente similares con los diferentes niveles de inclusión de urea (Tabla 4.2). Araiza-Rosales *et al.* (2013) con inclusiones de 0, 5 y 10% de melaza a ensilado de maíz observaron que inclusión de 10% aumentaba de manera significativa esta fracción.

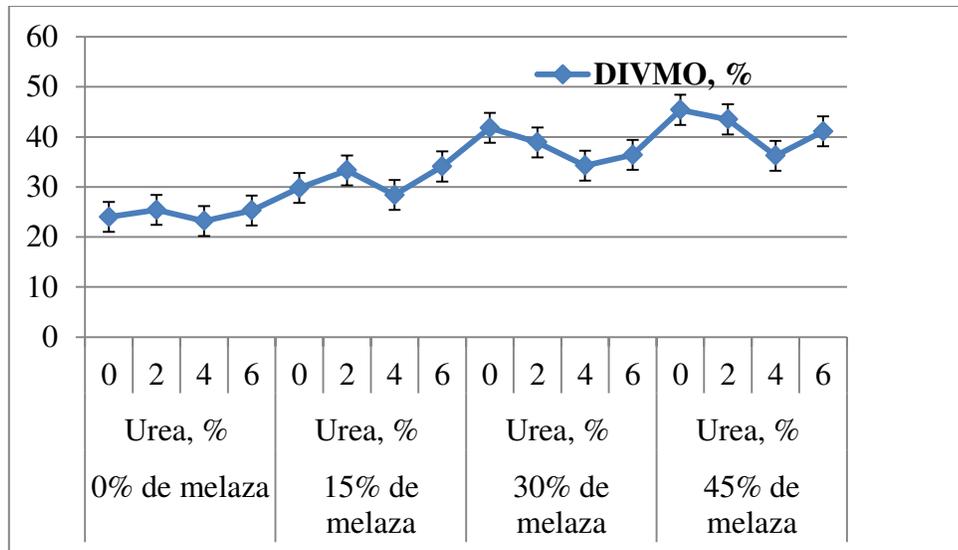


Figura 4.1. Degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) de biomasa de *Quercus rugosa* Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.

Con el 0% de melaza se observó que 4% de inclusión de urea aumentan el valor de la fracción b, y con 0, 2 y 6% es más reducido. Con el 15% de melaza la fracción lentamente degradable es más baja con el 0 y 2% de urea, y se eleva significativamente con 4 y 6%. Con el 30% de melaza los niveles de inclusión de urea no presentaron efectos en cuanto a los valores de la fracción lentamente degradable. Con el 45% de melaza el valor más elevado de la fracción b se obtuvo con el 4% de urea, los otros niveles fueron estadísticamente similares. Araiza-Rosales *et al.* (2013) con inclusiones de 0, 5 y 10% de melaza a ensilado de maíz observaron que inclusión de 0% aumentaba de manera significativa esta fracción, siguiéndole 5 y 10%.

Tabla 4.2. Cinética de la degradabilidad *in situ* de la materia seca de biomasa de *Quercus rugosa* Née enriquecida con diferentes niveles de melaza y urea.

Valor nutricional	0% de melaza				15% de melaza				30% de melaza				45% de melaza				EEM
	Urea, %																
	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	
Fracción rápidamente degradable, "a"	18.2 ^g	18.5 ^g	16.5 ^g	23.8 ^f	22.8 ^f	23.2 ^f	27.4 ^c	29.3 ^d	33.6 ^{bcd}	33.6 ^{bcd}	33.4 ^{bcd}	36.0 ^{ab}	33.7 ^{bcd}	35.0 ^{abcd}	35.7 ^{abc}	36.8 ^a	0.50
Fracción lentamente degradable, "b"	13.7 ^{bcd}	13.3 ^{bcd}	20.8 ^a	14.2 ^{bcd}	17.9 ^{ab}	18.2 ^{ab}	18.0 ^{ab}	17.2 ^{ab}	7.9 ^d	8.3 ^d	13.5 ^{bcd}	10.1 ^{cd}	12.6 ^{cd}	13.7 ^{bc}	22.3 ^a	11.23 ^{cd}	0.90
Constante de degradación de "b", "c"	0.01 ^c	0.02 ^c	0.01 ^c	0.03 ^c	0.03 ^c	0.4 ^a	0.01 ^c	0.04 ^c	0.02 ^c	0.02 ^c	0.04 ^c	0.1 ^b	0.02 ^c	0.03 ^c	0.01 ^c	0.1 ^b	0.02
Degradabilidad potencial, (a+b)	31.9 ^g	31.8 ^g	37.3 ^f	38.0 ^f	40.8 ^{ef}	41.4 ^{def}	45.4 ^{bcd}	46.5 ^{bc}	41.5 ^{def}	41.9 ^{def}	46.9 ^{bc}	46.1 ^{bc}	46.3 ^{bc}	48.7 ^b	58.0 ^a	48.0 ^b	0.9

EEM= error estándar de la media.

a, b, c Literales diferentes entre hileras indican diferencias (P<0.05).

La degradabilidad potencial (a + b) con el 0% de melaza fue mayor con 4 y 6% de urea y significativamente menor con 0 y 2%. El 15% de melaza los valores más bajos los presento 0 y 2%, y los más elevados 4 y 6%. Con el 30 de melaza la degradabilidad más elevada la presenta la inclusión de 4 y 6% de urea, y más baja 0 y 2%. La inclusión del 45% de melaza el 4% de urea presentó la degradabilidad efectiva más elevada, seguido de 6%, y por último 2 y 0%. En concordancia, Araiza-Rosales *et al.* (2013) y Vallejo-Solís (1995) reportan que conforme se reduce la inclusión de melaza en forrajes, se baja la degradabilidad potencial de estos.

En otros estudios con el 3.5% de amoníaco anhídrido se observaron aumentos en la degradabilidad *in vivo* de la MS por bovinos y ovinos, con pajas de: trigo, cebada y avena; y con paja de cebada con el 4 y 6% de urea (Horton, 1978; Horton y Steacy, 1979; Alibés *et al.*, 1984; Givens *et al.*, 1988; y Souza y Dos Santos, 2002). También con ensilados de sorgos taniníferos adionados con el 2% de urea se observaron incrementos (Montiel *et al.*, 2012). Con *Axonopus affinis*, Cohen (1974) con la inclusión de urea y melaza aumento la degradabilidad *in vivo*. En contraste, Pinto-Hernández *et al.* (1994) mencionan que con *Panicum muximum* Jacq la degradabilidad *in vivo* de la MS no mejoro cuando se proporciono un suplemento a base de melaza que contenía 0, 2, 4 y 6% de urea.

En este estudio, las constante de degradación de **b** más elevadas fueron con el tratamiento al 15% de melaza y al 2% de urea, seguido del 6% de urea y 30 y 45% de melaza, los tratamientos restantes fueron estadísticamente similares. Araiza-Rosales *et al.* (2013) con inclusiones de 0, 5 y 10% de melaza a ensilado de maíz observaron que inclusión de 0% aumentaba de manera significativa la degradación, siguiéndole 5 y 10%.

4. Conclusiones

En general, los contenidos de MO, FDN y FDA disminuyeron conforme se aumentaron los niveles de melaza en las mezclas. Sin embargo, la PC, CNF, cenizas, EM, ENI y SCFA tuvieron un comportamiento contrario. El EE y hemicelulosa se redujeron al aumentar la inclusión de urea. En general, la DIVMO se elevó a medida que se elevaba la inclusión de melaza en las mezclas. En todas las mezclas de melaza, las fracciones **a** y **b** y **a+b** fueron más elevadas con 4 o 6% de urea. La constante de degradación **c** fue variable entre tratamientos.

Reconocimientos

El autor agradece a los pobladores de la región Sur de Zacatecas y Norte de Jalisco, especialmente a José Félix Carrillo Lamas y Ma. Consuelo Muro Saldaña, por la gran ayuda que prestaron para realizar este proyecto e interés en la conservación y mejoramiento de los usos de *Quercus* en la ganadería sustentable.

Referencias

- Abas, I., H. Ozpinar, K.H. Can y R.Kahraman. 2005. Determination of the metabolizable energy (ME) and net energy lactation (NEL) contents of some feeds in the marmara region by in vitro gas technique. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 29: 751-757.
- Alibés, X., F. Muñoz y R. Faci. 1984. Anhydrous ammonia treated cereal straw for animal feeding. Some results from the mediterranean area. Anim. Feed Sci. Technol. 10: 239-246.

- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis, 14th Ed. The Association: Arlington, VA.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Araiza-Rosales, E., E. Delgado-Licon, F. O. Carrete-Carreón, H. Medrano-Roldán, A. Solís-Soto, M. Murillo-Ortiz y C. Haubi-Segura. 2013. Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. AIA. 17(2): 79-96
- Cheng, P. W. 1997. From covariation to causation: A causal power theory. Psychological Review 104: 367-405.
- Cohen, R.D.H. 1974. Effect of molasses-urea supplements on digestibility of mature carpet grass (*Axonopus affinis*) and liveweight change of beef steers. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 14(70): 589-592.
- CONAFOR, 2009. Programa Nacional de Protección contra incendios Forestales. Comisión nacional Forestal. SEMARNAT. México.
- Conrad, J. H. y B.R. Pastrana. 1989. Amonificación usando urea para mejorar el valor nutritivo de materiales fibrosos. En: Conferencia Internacional sobre Ganadería en los Trópicos. Universidad de Florida, Gainesville. 554 pp.
- De la Paz P.O.C., A.R. Campos, A.I. Quintanar y R.S. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. Madera y Bosques 4 (2):45-65.
- Givens, D.I., A.H. Adamson y J.M. Cobby. 1988. The effect of ammoniation on the nutritive value of wheat, barley and oat straws. II Digestibility and energy value

- measurements in vivo and their prediction from laboratory measurements. Anim. Feed Sci. Technol. 19: 173-188.
- Horton, G.M.J. 1978. The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle. Can. J. Anim. Sci. 58:471.
- Horton, G.M.J. y G. M. Steacy. 1979. Effect of Anhydrous Ammonia Treatment on the Intake and Digestibility of Cereal Straws by Steers. J. Anim. Sci. Vol. 48, No. 5.
- INEGI. 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tequila, Jalisco. Clave Geoestadística 14094.
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Teúl de González Ortega. Clave Geoestadística 32047.
- INEGI. 2009c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Cristóbal de la Barranca, Jalisco. Clave Geoestadística 14071.
- Makkar, H.P.S. 2005. In vitro gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. Anim. Feed Sci. Technol. 123-124: 291-302.
- Menke, K. H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz y W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J. Agric. Sci. (Camb.) 92: 217 -222.
- Menke K.H. y H. Steingass. 1998. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Develop. 28: 7-55

- Montiel, M.D., J.C. Elizalde, F. Santini y L. Giorda. 2012. Desactivación de taninos en grano húmedo de sorgo con polietilenglicol o urea. *Arch. Zootec.* 61: 234-241.
- Nocek, J. E. y J.B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71: 2070-2107.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA. National Academy Press.
- Ørskov, E.R. y L.M. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 92: 499-503.
- Ørskov, E.R. 2000. The in situ technique for the estimation of forage degradability in the ruminants. In: *Evaluation in Ruminant Nutrition*, CAB International (eds. D.I. Givens, E.Owen, R.F.E. Axford y H.M.Ohmed) pp. 175-188.
- Pinto-Ruiz, R., D. Hernández, H. Gómez, M.A. Cobos, R. Quiroga y D. Pezo. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia. Trópico húmedo.* 26(1):19-31.
- Porter, I.J., L.N. Hirstich y B.G.Chan. 1986. The conversion of procyanidin and prodelphinidins. *Phytochemistry* 25: 223-230.
- Reis, R.A., P. Andrade, B. Rosa, C.R. Alcalde y C.C. Jobim. 1995. Efeito da suplementação protéica sobre o valor nutritivo da palha de aveia preta tratada com amonia. *Rev. Soc. Bras. Zoot.* 24(2): 233-241.
- SAS, 2000. SAS/STAT® User's Guide (8.1Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.

- Shultz, E., T.A. Shultz, A.A. Carnevali y C.F. Chicco. 1971. Suplementación con urea-melaza y pulitura de arroz en bovinos alimentados con pastos de pobre calidad. *Agronomía Trop.* 21(3): 195-204.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox y J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 2. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70: 3562–3577.
- Souza, O. e I.E. Dos Santos. 2002. Digestibilidad *in vivo*, balance de nitrógeno e Ingestión voluntaria en ovinos alimentados con paja de cebada tratada con urea. *Arch. Zootec.* 51: 361-371.
- Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan y J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed. Sci. and Technol.* 48:185-197.
- Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol. Soc. Bot. México* 75:33-53.
- Vallejo-Solís, M.A. 1995. Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales. Tesis (Mag Sc). CATIE, Turrialba (Costa Rica). Tab. Bib. p. 91-106. Sum. (En, Es).
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber y nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES GENERALES

Los valores de MO, PC CNF, EE, EM, ENI, SCFA y TC; DIVMO y los parámetros de degradabilidad *in situ* de las hojas de *Q. resinosa* fueron más elevados en las hojas jóvenes que en las maduras. Sin embargo, la FDN y FDA fue más bajas en las hojas jóvenes que en las maduras. La hemicelulosa no varió entre colectas. Las hojas de *Q. resinosa* pueden sustituir por completo al forraje de dietas para ovinos en engorda, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo. Asimismo, las hojas colectadas en los diferentes estados vegetativos son más consumidas y preferidas, primavera, seguidas de verano, otoño e invierno. Por tanto, se considera que las hojas de *Q. resinosa* presenta un buen valor nutritivo y de mejor calidad que algunos subproductos agrícolas producidos en la región y usados como alimento en dietas para ovinos.

La colecta de MS de *Q. rugosa* Née en las mesetas fue económicamente más factible debido a que la producción fue más elevada, lo que redujo los costos de cosecha y procesado. No se observó efecto de los periodos de colecta en la composición química de las muestras. La producción de MS y dinámica de degradación fueron más elevados en el segundo y tercer periodo de colecta. Las hojas de *Q. rugosa* Née se pueden incluir en dietas de ovejas en mantenimiento hasta en un 30%, sin tener efectos negativos en la palatabilidad y consumo.

En general, los contenidos de MO, FDN y FDA disminuyeron conforme se aumentaron los niveles de melaza en las mezclas. Sin embargo, la PC, CNF, cenizas,

EM, ENI y SCFA tuvieron un comportamiento contrario. El EE y hemicelulosa se redujeron al aumentar la inclusión de urea. En general, la DIVMO se elevó a medida que se elevaba la inclusión de melaza en las mezclas. En todas las mezclas de melaza, las fracciones a y b y a+b fueron más elevadas con 4 o 6% de urea. La constante de degradación c fue variable entre tratamientos.

CAPÍTULO 6

RESUMEN CURRICULAR

Octavio Carrillo Muro

Candidato para el Grado de Doctor en Ciencias con Acentuación en Alimentos

Tesis: **USO DE *Quercus rugosa* Née Y *Quercus resinosa* Liebm. EN LA ALIMENTACIÓN DE PEQUEÑOS RUMIANTES**

Campo de Estudio: Ciencias Veterinarias

Datos personales: Nacido en Huitzila, Teúl de González Ortega, Zacatecas, el 18 de Abril de 1985, hijo de José Félix Carrillo Lamas y Ma. Consuelo Muro Saldaña.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Zacatecas, obteniendo el título de Médico Veterinario Zootecnista en 2008; y de la Universidad Autónoma de Baja California, con el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias en 2011.

Experiencia profesional: Profesor investigador en la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas de enero de 2013 a la fecha.

Publicaciones en revistas indexadas:

Aguilera-Soto, J.I., F. Méndez-Llorente, M.A. López-Carlos, R.G. Ramírez, **O.**

Carrillo-Muro, L.M. Escareño-Sánchez y C.A. Medina-Flores. 2014. Effect of fermentable liquid diet based on tomato silage on the performance of growing finishing pigs. *Interciencia* 39:428-431.

Méndez-Llorente, F., J.I. Aguilera-Soto, M.A. López-Carlos, R.G. Ramírez, **O.**

Carrillo-Muro, L.M. Escareño-Sánchez y C.A. Medina-Flores. 2014. Preservation of fresh tomato waste by silage. *Interciencia* 39:432-434.

López-Carlos, M.A., J.I. Aguilera-Soto, R.G. Ramírez, H. Rodríguez, **O. Carrillo-Muro** y F. Méndez-Llorente. 2014. Effect of zilpaterol hydrochloride on

growth performance and carcass characteristics of wether goats. *Small Rum. Res.* 117, 142–150.

Estrada-Angulo, A., Y. S. Valdes, **O. Carrillo-Muro**, B.I. Castro-Perez, A. Barreras, M.A. Lopez-Soto, A. Plascencia, H. Dávila-Ramos, F.G. Rios y R.A. Zinn. 2011. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim. Prod. Sci.* 53(4) 308-315.