



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE LAS HOJAS DE
Paulownia elongata EN EL PERÍODO PREVIO A SU CAÍDA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A N

ESTEBAN VEGA GRANADOS

VILMA BARRITA RAMÍREZ

ASESORA: DRA. DENEBA CAMACHO MORFÍN

COASESORA: Q.B. LILIAN MORFÍN LOYDEN

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

J. N. A. M.

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

DEPARTAMENTO DE

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicarle a usted que revisamos **LA TESIS:**

“Caracterización nutricional de las hojas de Paulownia elongata en el período previo a su caída”

Que presenta el pasante: Esteban Vega Granados
 Con número de cuenta: 30430995-7 para obtener el Título de: Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 “POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 5 de Junio de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	MPA. Lucas Gelacio Melgarejo Velázquez	
VOCAL	Dra. Deneb Camacho Morfín	
SECRETARIO	Dr. Joob Anastasio Zaragoza Esparza	
1er SUPLENTE	MC. César Garzón Pérez	
2do SUPLENTE	Dra. María de los Ángeles Ortiz Rubio	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/pm



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos **LA TESIS:**

"Caracterización nutricional de las hojas de Paulownia elongata en el período previo a su caída"

Que presenta la pasante: Vilma Barrita Ramírez
Con número de cuenta: 30307408-3 para obtener el Título de: Médica Veterinaria Zootecnia

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 5 de Junio de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	MPA. Lucas Gelacio Melgarejo Velázquez	
VOCAL	Dra. Deneb Camacho Morfín	
SECRETARIO	Dr. Joob Anastasio Zaragoza Esparza	
1er SUPLENTE	MC. César Garzón Pérez	
2do SUPLENTE	Dra. María de los Ángeles Ortíz Rubio	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

¡Señor, nuestro Dios,
qué admirable es tu Nombre en toda la tierra!
Quiero adorar tu majestad sobre el cielo:
con la alabanza de los niños
y de los más pequeños,
erigiste una fortaleza contra tus adversarios
para reprimir al enemigo y al rebelde.
Al ver el cielo, obra de tus manos,
la luna y las estrellas que has creado:
¿qué es el hombre para que pienses en él,
el ser humano para que lo cuides?
Lo hiciste poco inferior a los ángeles,
lo coronaste de gloria y esplendor;
le diste dominio sobre la obra de tus manos,
todo lo pusiste bajo sus pies:
todos los rebaños y ganados,
y hasta los animales salvajes;
las aves del cielo, los peces del mar
y cuanto surca los senderos de las aguas.

¡Señor, nuestro Dios,
qué admirable es tu Nombre en toda la tierra!

Sal 8, 1-10

AGRADECIMIENTOS

ESTEBAN VEGA GRANADOS

He sido crucificado con Cristo, y ya no vivo yo sino que Cristo vive en mí. Lo que ahora vivo en el cuerpo, lo vivo por la fe en el Hijo de Dios, quien me amó y dio su vida por mí. Gal 2, 20.

Gracias Dios, por el don maravilloso de la vida, por guiarme día a día y permitirme culminar una etapa más; por ayudarme en todo instante, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y flaqueza, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad, pero sobre todo por ser un Dios de amor. Todo lo puedo en Cristo que me fortalece. Flp 4,13.

A mis papás Cosme Vega Angeles e Irma Granados Cruz, quiénes han sido mis guías en la tierra; a los que les debo lo que soy, ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio diario, me han enseñado el valor del trabajo, la importancia de los valores y a ser una persona que de beneficios a la sociedad. Papás este triunfo también es de ustedes.

A mi hermanita, Gueanelli Vega Granados, por apoyarme en cada aventura loca que mi mente crea, por ser mi fiel amiga y consejera, por ser la inspiración de cada uno de mis logros, por regalarme todos los días su maravillosa sonrisa que hace que olvide los problemas que me turban. También eres participe de este logro, hermanita.

A mis abuelitos, Poncho, Tacho (†), Cristi y Esther. Por enseñarme a luchar por lo que se quiere, por esa fortaleza que me demuestran día con día, por brindarme su amor, cariño y comprensión. Sobre todo por esos momentos irremplazables que hemos pasado juntos.

A mis primos casi hermanos Lalo, Liz, Lupita, Hilda, Salo; por esos momentos tan maravillosos que hemos compartido, por las charlas, juegos, risas, lagrimas, por estar a mi lado en cada momento crucial de mi vida.

A toda mi familia tíos, tías, primos, primas, por los consejos, su atención, por ser lo que son y sobre todo por enseñarme a disfrutar la vida.

A mis amigos de la secundaria, Elva, Juan, Monica, por estar junto a mi y pendiente de lo que hago, por todos los momentos que compartimos hace algunos ayer y por los que nos faltan vivir.

A mis amigos de la FESC, Maetzy, Karmelita, Laurita, Gaby, Judith, Ivoncita, José Luis, Vilma, Analia, Michelle, Chio, , Mitzel, Roselli, Belen, Florecita, Gloria,

Jazmín, Angélica, Joyce, Maresa, Yoselin, Brenda, Ivonne, Uriel, Efren, Carlos; quienes fueron mi segunda familia durante 5 años, y con los que he compartido grandes momentos de mi vida, alegrías, tristezas, lagrimas, esfuerzos, gracias por todo lo que me han enseñado, y por estar conmigo.

A mis amigos de P.J. Ana, Yocelyn, Chabe, Joel, Pavel, Irving, Edson, Misael, Chela, Addy, Dulce Nelva, Vivi, Omar, y a todos los chavos que junto conmigo tienen sed de Dios; por sus enseñanzas diarias, por sus consejos, por las risas, los juegos, bailes, triunfos, los quiero y llevo en mi corazón.

A los Sacerdotes, Arturo, Toño, Jaime; por sus oraciones, su tiempo, apoyo, consejos, por ser mis guías, por formar parte de mi vida, gracias.

A mis amigos, Ado, Chabelita, Carmen, Chela, Ime, por ser parte fundamental de mi crecimiento como persona y por estar conmigo en los mejores y peores momentos, gracias amigos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo decidido, generoso y desinteresado, por abrirme sus puertas desde la Preparatoria, este agradecimiento va especialmente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, mi *alma máter*, por darme las herramientas del conocimiento, por instruirme, formarme y prepararme.

A todos mis profesores, por que todos ustedes han colocado una semillita en mí, la cuál comienza a dar frutos. Por su tiempo y dedicación, por sus enseñanzas y compromiso, por eso y más este agradecimiento y reconocimiento.

A mi asesora, Dra. Deneb Camacho Morfín, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo y confianza, lo cuál me permitió aprender mucho más que lo estudiado en este trabajo experimental.

A mi coasesora, Q.B. Lilian Morfín Loyden, por todas sus enseñanzas, por su tiempo, por sus llamadas de atención, por su apoyo, por su disciplina.

A todos mis compañeros tesisistas del laboratorio de Bromatología; a Vilma, Víctor, Luz, Heidi, Miguel, Angélica; por hacer más llevaderos los momentos de tensión y estrés, por esos chistes, risas, y las enseñanzas que me dejan.

A mis sinodales, M.P.A. Lucas Gelasio Melgarejo, Dr. Joob A. Zaragoza Esparza, M. en C. César Garzón Pérez, Dra. Ma. de los Ángeles Ortiz Rubio; por su dedicación, por sus enseñanzas, sus consejos, sus comentarios, y sobretodo, por compartir su tiempo conmigo para la realización de esta tesis.

Probablemente se me olvide algún nombre y por lo tanto mis más sinceras disculpas para ellos.

AGRADECIMIENTOS

VILMA BARRITA RAMÍREZ

Gracias a Dios, por darme la vida, una vida llena de personas maravillosas, por darme el aliento para seguir día a día, y por colmarme de cosas buenas, por estar ahí cada vez que lo he necesitado, y darme la fuerza para culminar uno de los proyectos más importantes de mi vida, GRACIAS DIOS, GRACIAS.

A mi padre, Francisco Barrita Rodríguez, la persona que más admiro, un hombre honesto, fuerte, valiente, de gran corazón que me ha enseñado a transitar por la vida, con valores y me ha mostrado que cuando uno tiene sueños debe trabajar muy duro para alcanzarlo, te amo.

A mi madre, Antonia Ramírez García, por su cariño, comprensión, por impulsarme día tras día a seguir adelante, sin dejar que me rindiera, y siempre con palabras de aliento, eres la mejor mamá del mundo.

A mis hermanos, Asunción Rosa, Francisco y Verónica, por siempre brindarme su apoyo, por los momentos divertidos, las travesuras de pequeños y por ser mis compañeros fieles a lo largo de mi vida, por consentirme y por exigirme, son maravillosos, le agradezco a Dios por los formidables hermanos que me regalo.

A mi familia en general, abuelitos, abuelitas, primos, primas, tíos, tías, sobrinos, a los que están cerca, y los que están lejos; y también a los que ya no se encuentran conmigo, gracias por ser parte de mi vida.

A mis amigas Arlette, Laura Elisa y Ariana, son personas maravillosas que Dios mando a mi vida, con ustedes aprendí grandes lecciones de vida, gracias por estar ahí para mí siempre, son extraordinarias.

A mis amigos Michelle Alondra (Mich), Roció (Chío), Viridiana Aderith (Viris), Mitzel (Mit), Analía (La Wera) y Esteban; por ser mis amigos, compañeros y cómplices durante el transcurso de estos 5 años de aprendizaje, por las múltiples risas compartidas, por las fiestas, los llantos y los abrazos, son una parte importante de mi vida, gracias por estar siempre para mí, los quiero.

A mis amigos y compañeros de Laboratorio de Bromatología, Esteban, Víctor, Miguel Ángel y Luz, gracias por compartir días de trabajo, conocimiento y muchas risas.

A todos los profesores que he tenidos a lo largo de mi vida, gracias por las enseñanzas dentro y fuera de una aula, y por impulsarme a siempre a crecer como persona, y como profesionista, de todos ellos siempre aprendí una lección.

A mi asesora la Dra. Deneb Camacho Morfín, gracias por la confianza y el apoyo para la realización de mi tesis, es un gran sueño cumplido.

A mi coasesora Q.B. Lilian Morfín Loyden, por todas las enseñanzas gracias, y por siempre procurar exigirnos más con el fin de ser siempre mejores.

A mis sinodales, M.P.A. Lucas Gelasio Melgarejo, Dr. Joob A. Zaragoza Esparza, M. en C. César Garzón Pérez, Dra. Ma. de los Ángeles Ortiz Rubio; gracias por tomarse el tiempo de leer el presente trabajo, de los consejos y comentarios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias por abrirme las puertas de esta honorable institución, por dejarme ser parte de sus filas, porque siempre sentiré mucho orgullo al decir que soy una Universitaria, y a mi *alma mater* la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, gracias por dejarme entrar al mundo del conocimiento, por formarme como profesionista y por prepararme para enfrentar al mundo.

A todas las personas que he conocido a lo largo mi vida, de forma directa o indirecta, porque al cruzarse nuestros caminos, siempre hay algo que aprender.

“El estudioso es el que lleva a los demás a lo que él ha comprendido: la verdad”
Santo Tomás de Aquino

“Los elementos de la dicha son: una buena conciencia, la honradez en los proyectos y rectitud en las acciones”
Séneca

“Hay tres cosas que nunca vuelven atrás..: la palabra pronunciada, la flecha lanzada y la oportunidad perdida”
Proverbio chino

“Si existen hombres que excluyen a cualquiera de las criaturas de Dios del amparo de la compasión y la misericordia, existirán hombres que tratarán a sus hermanos de la misma manera”
San Francisco de Asís

Hacemos un agradecimiento especial
al Centro Universitario
UAEM Zumpango, por abrirnos sus puertas,
y por proporcionarnos lo necesario para
realizar esta tesis.

Al M. en F. José Luis Gutiérrez Liñán
y al M.V.Z. Ranulfo Reyes Gama;
por su interés y apoyo en la
elaboración de esta tesis

Índice

	Página
Resumen	1
1. Introducción	2
1.1 Cambio climático	2
1.1.1 Definición	2
1.1.2 Efectos del cambio climático	2
1.1.3 Impacto del cambio climático sobre el sector agropecuario	3
1.1.4 Estrategias para combatir el cambio climático	4
1.2 Agroforestería	6
1.2.1 Definición	6
1.2.2 Agroforestería en México	6
1.3 Árbol de uso múltiple	7
1.4 Valor nutritivo de los alimentos	7
1.5 Digestibilidad	8
1.6 <i>Paulownia elongata</i>	9
1.6.1 Generalidades	9
1.6.1.1 Lugar de origen	9
1.6.1.2 Taxonomía	10
1.6.1.3 Requerimientos Agroclimáticos	12
1.6.2 Introducción a México	13
1.6.3 Usos	14
1.6.4 Utilización como alimento para animales	15
1.6.5 Valor nutritivo	17

2. Justificación	19
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos	20
4. Materiales y métodos.	21
4.1 Localización del área de estudio	21
4.2 Obtención de muestras	22
4.3 Determinaciones químicas	25
4.4 Digestibilidad <i>in vitro</i>	25
4.5 Energía	26
4.6 Análisis estadístico	27
5. Resultados.	28
5.1 Composición química	28
5.2 Fracciones de Van Soest	28
5.3 Comparación de la composición química entre forrajes	28
5.4 Factores antinutricionales	29
5.5 Digestibilidad <i>in vitro</i>	29
5.6 Energía	29
6. Discusión.	36
7. Conclusiones.	40
8. Bibliografía.	41

Índice de Cuadros

		Página
Cuadro 1.1	Clasificación taxonómica de <i>Paulownia elongata</i>	10
Cuadro 1.2	Análisis del valor nutritivo de hojas de <i>Paulownia</i> efectuado en el Instituto de Investigación Forestal de productos Químicos e Industria, de la Academia China de Silvicultura	17
Cuadro 1.3	Análisis del valor nutritivo reportada en las hojas de <i>Paulownia elongata</i>	18
Cuadro 4.1	Fecha de muestreos y etapa fonológica	23
Cuadro 5.1	Composición química en base seca de hojas de <i>Paulownia elongata</i> en los meses previos a la caída de las hojas.	30
Cuadro 5.2	Fracciones de Van Soest de <i>Paulownia elongata</i> en los meses previos a la caída de las hojas	31
Cuadro 5.3	Comparación de la composición química de hojas de <i>Paulownia elongata</i> con heno de avena, heno de alfalfa y ensilado de maíz, en base seca	32
Cuadro 5.4	Presencia de tóxicos en <i>Paulownia elongata</i> en los meses previos a la caída de las hojas	33
Cuadro 5.5	Digestibilidades de la materia seca y de la materia orgánica de hojas de <i>Paulownia elongata</i> en los meses previos a la caída de las hojas	34
Cuadro 5.6	Contenido de energía en <i>Paulownia elongata</i> en los meses previos a la caída de las hojas, en términos de Total de Nutrientes Digestibles (T.N.D.), Energía Digestible (E.D.), Energía Metabolizable (E.M.) para Rumiantes y Cerdos	35

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.1 Árbol de <i>Paulownia elongata</i>	11
Figura 4.1 Plantación de <i>Paulownia elongata</i> en Zumpango, Estado de México	21
Figura 4.2 Suelo solonchak mólico	22
Figura 4.3 Población de árboles de <i>Paulownia elongata</i>	24
Figura 4.4 Homogenización de muestreo y formación de 2 submuestras.	24

Resumen

Paulownia elongata es un árbol de uso múltiple originario de China, el cual se introdujo a México por crecer en suelos muy pobres o degradados por la erosión, por tener alta resistencia a la sequía, crecimiento acelerado, resistencia al fuego y resistencia a plagas y enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el valor nutritivo de las hojas de *Paulownia elongata* en el período previo a su caída; por lo cual se recolectaron hojas de diez árboles seleccionados al azar de una plantación establecida en Zumpango, Estado de México. Se realizaron cuatro muestreos durante el período comprendido de agosto a octubre de 2011. Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de Bromatología de la FES-Cuautitlán UNAM, una parte de cada muestra se secó a menos de 60°C durante 48 hr para obtener la materia seca (MS) y se molieron en un molino de Wiley, y se les determinó humedad total (HT), proteína cruda (PC), cenizas (C), extracto etéreo (EE), calcio (CA) y fósforo (P), según los métodos de la AOAC (1999), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (L) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). A la otra parte se les realizó pruebas cualitativas de nitratos, nitritos, taninos y glucósidos cianogénicos. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con la prueba de Tukey. Los resultados obtenidos para MS fueron: 32.3, 30.7, 36.7 y 30.8%, respectivamente. Asimismo, se obtuvo alrededor del 14.5 % de PC en todas las muestras. En el caso de Ca alrededor del 2% y de P los resultados se encontraron alrededor de 0.15 %. La FDN fue de 49, 45, 44, 43% y L de 8, 8, 13, 14 %. La DIVMO fue de alrededor de 60 % en todas las muestras. No se detectó la presencia de nitratos, nitritos ni taninos, solo de glucósidos cianogénicos. Durante el período de estudio hubo variaciones, debido a la fase de maduración de *Paulownia*.

Palabras clave: *Paulownia elongata*, composición química, forraje, hojas.

1. Introducción

1.1 Cambio climático.

1.1.1 Definición

En la actualidad existen problemas muy grandes que afectan la producción animal a nivel mundial y nacional, dentro de los cuales se encuentra el cambio climático; el cual es definido por la Comisión Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo” (Brodie *et. al.*, 2012).

1.1.2 Efectos del cambio climático

Durante los últimos 400 mil años, el clima de la Tierra ha sido inestable, con temperaturas oscilantes de un clima cálido a una edad de hielo en tan sólo unas décadas. De acuerdo con la evidencia disponible, es poco probable que la temperatura media global haya variado más de 1° C en un siglo en el transcurso de este periodo (BIRF, 2010).

La magnitud de los impactos que habrán de ocurrir dependerá por un lado, de la evolución que se produzca en el nivel de las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta y, por otro, de las acciones que se desarrollen para su mitigación (Gasper *et. al.*, 2011).

Los efectos se pueden presentar en dos órdenes de cambios; por un lado se prevén cambios de tipo paulatino; por otro, se espera un aumento en la frecuencia de ocurrencia, en la duración y en la intensidad de eventos climáticos severos o extremos (Gasper *et. al.*, 2011).

En los diversos escenarios proyectados es posible esperar, entre otros impactos, los siguientes (PNUMA/ORPALC, 2005):

- Aumento de las temperaturas de entre 1°C y 6°C a lo largo de este siglo.
- Elevación del nivel de mar de entre 10 cm y 90.
- Cambios en los regímenes de precipitaciones.
- Aumento de periodos de sequía prolongada en algunas regiones.
- Aumentos en la frecuencia, duración e intensidad de eventos climáticos extremos.
- Incremento de la frecuencia y severidad de las olas de calor, más acentuadas en las zonas urbanas (debido al fenómeno de la burbuja de calor) (PNUMA/ORPALC, 2005).

1.1.3 Impacto del cambio climático sobre el sector agropecuario

El sector agropecuario es una actividad fundamental en la economía mexicana atendiendo a su participación en el producto interno bruto (PIB), al empleo directo e indirecto que genera y a su asociación con los ingresos de los agentes económicos en zonas rurales. La evidencia disponible sugiere que la evolución del sector agropecuario depende del capital invertido, de la combinación de insumos, de los fertilizantes, de la tecnología, de la irrigación, del tipo de administración de riesgos, de los pesticidas, del empleo, del nivel de emisiones de CO₂ y de las características del suelo pero también de los factores climáticos (SEMARNAT, 2009).

En este contexto, se considera que los cambios climáticos son un fenómeno estocástico y en ese sentido identificar sus impactos específicos resulta complejo (Doering *et. al.*, 2002).

La evidencia internacional disponible sobre los impactos del cambio climático en el sector agropecuario es ciertamente compleja y disímil, pero puede sintetizarse en (Gasper *et. al.*, 2011):

- El aumento del CO₂ tiene un impacto positivo significativo sobre la producción y el rendimiento del sector agropecuario al menos dentro de ciertos rangos.
- Un aumento de la temperatura tiene un impacto inicial positivo en la producción y en los rendimientos; sin embargo, pasando ciertos límites de temperatura los impactos se hacen negativos.
- En la mayoría de los resultados empíricos se observa que los cambios en la temperatura son más importantes que aquellos asociados a la lluvia.
- Los impactos específicos son fuertemente dependientes de los agro-climas, del tipo de suelo y de la sensibilidad al CO₂ lo que incluye un nivel de incertidumbre adicional a las proyecciones (Gasper *et. al.*, 2011).

1.1.4 Estrategias para combatir el cambio climático

Las dos políticas principales en la lucha contra el cambio climático son la mitigación y la adaptación a sus efectos. (Gobierno de Canarias, 2007). Se trata de dos frentes complementarios, uno para reducir su dimensión y el otro, para prevenir sus efectos (SEMARNAT, 2009)

La investigación y tecnología, las fórmulas de financiación de las políticas de reducción de gases de efecto invernadero, pero sobre todo para afrontar los costes de adaptación y de explotación de las consecuencias del cambio climático, así como la formación y la concientización de todos los sectores de la sociedad (PNUMA/ORPALC, 2005).

Se puede considerar que la producción pecuaria, puede asociarse con los daños ambientales, ya que el sector pecuario se ve afectado por la degradación de los ecosistemas y se enfrenta a la creciente competencia de otros sectores por estos mismos recursos (FAO, 2009).

A pesar de que algunos países han progresado en la reducción de la contaminación y la deforestación asociada a la producción de ganado, un número mucho más elevado de ellos requieren unas políticas adecuadas y capacidad para ponerlas en práctica (FAO, 2009).

La mayoría de los sistemas de producción pecuaria tradicionales se basan en los recursos disponibles localmente con usos alternativos limitados (FAO, 2009). El ganado es el mayor usuario mundial de los recursos de las tierras: las tierras empleadas en el pastoreo y en la producción de forrajes representan prácticamente el 80 % de todas las tierras agrícolas (Murillo *et al.*, 2009). Entre los grandes problemas nacionales e internacionales destacan los bajos niveles de producción agrícola y pecuaria (Murillo *et al.*, 2009).

La tecnología agrícola y ganadera se supera e intensifica en las zonas de riego y de buen temporal, así como en las de buen agostadero. En contraste, las condiciones climáticas inherentes a las zonas áridas limitan el desarrollo de la agricultura. En respuesta, los pobladores de estas áreas, desde tiempos pasados, han desarrollado estrategias de sobrevivencia y producción a partir de recursos naturales nativos e introducidos, con alto potencial de adaptación y remunerativos (Murillo *et al.*, 2009).

Una respuesta al deterioro ambiental y a la pérdida de biodiversidad, consiste en la estabulación de los animales, la reducción del pastoreo, y el fomento a la siembra y conservación de forrajes alternativos con nuevas especies de cultivo con tolerancia a sequía y/o salinidad (Murillo *et al.*, 2009).

1.2 Agroforestería

1.2.1 Definición

Es el cultivo deliberado de árboles en la misma unidad de tierra que los cultivos agrícolas y/o la cría de animales, ya sea en forma de mezcla espacial o en secuencia temporal. Debe existir una interacción significativa entre los elementos arbóreos y no arbóreos del sistema, ya sea en términos ecológicos y/o económicos (ICRAF, 1990).

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en donde leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales (López, 2007).

1.2.2 Agroforestería en México

La actual crisis del campo en México, reflejada en un aumento alarmante de la pobreza rural, encarecimiento de los alimentos básicos, al migración a Estado Unidos y la degradación de los recursos naturales (Palma *et. al.*, 2011).

Durante los últimos años, se ha dado un intenso debate sobre la necesidad de transformar la ganadería convencional en sistemas más robustos de producción animal que mejoren la producción, en un contexto de conservación de los recursos naturales (Nair, 1997). Asimismo, técnicos, productores, investigadores y centros de desarrollo se han asociado para generar alternativas tecnológicas y sociales incorporando el conocimiento local de forma incluyente (Palma *et. al.*, 2011).

La agroforestería es una de las disciplinas que ha sido reconocida a nivel mundial por agencias internacionales de desarrollo, por su viabilidad técnica y social (Palma *et. al.*, 2011).

En México, al igual que en la mayoría de los países de América Latina y el mundo, se están desarrollando iniciativas de investigación y desarrollo para contribuir a impulsar una ganadería racional, que haga un buen uso de los recursos naturales, que contribuya a la seguridad alimentaria de la población rural, que sea sostenible, y que permita reducir el impacto ambiental y el cambio climático (BSAS, 2008).

En México, la Agroforestería se practica en varias regiones y presenta diferentes grados de desarrollo, donde la investigación empezó hace poco más de veinte años y su enseñanza formal es aun más reciente (Ortiz, 1996).

1.3 Árbol de uso múltiple

Es toda aquella especie leñosa perenne, que en adición de los productos y servicios normalmente esperados como madera, influencias microclimáticas, mejoramiento del suelo, adición de materia orgánica, proporciona productos y servicios adicionales tales como fijación de nitrógeno, forraje, productos comestibles para humanos, gomas, fibras y productos medicinales (Musálem, 2001; Wood y Burley, 1995).

1.4 Valor nutritivo de los alimentos

El valor nutricional del alimento para aportar los distintos nutrientes, puede determinarse mediante el análisis químico pero el valor real para los animales solo puede conocerse después de haber tenido en cuenta las pérdidas inevitables que se producen durante la digestión, absorción y metabolismo. La primera cantidad que hay que descontar de los alimentos corresponde a la fracción no absorbible y excretada en las heces (Mc Donald *et al.*, 2002).

Los alimentos son evaluados en base a su producción energética y contenido proteico debido a que éstos son los nutrientes que los animales de producción

necesitan más para una respuesta que se manifieste en una máxima eficiencia productiva. Sin embargo las deficiencias de vitaminas y minerales deben ser complementadas por medio de suplementación en la dieta. Los nutrientes esenciales incluyen el agua, energía, minerales, vitaminas y aminoácidos (Van Soest *et al.*, 1991).

1.5 Digestibilidad

La composición química de un alimento es solamente indicativa del contenido de nutrientes del mismo, más no de su disponibilidad para el animal, por lo que es necesario contar además con datos de digestibilidad. Esta se define como el porcentaje de un nutrimento dado que se digiere en su paso por el tubo gastrointestinal. Aunque existen varios métodos para la medición de la digestibilidad (Shimada, 2009).

La digestibilidad varía por los factores propios del alimento, los animales que lo consumen o por ambas cosas. Los alimentos que más varían en digestibilidad son los forrajes, y el principal causante de dicha variabilidad es el estado de madurez (Shimada, 2009).

Los métodos para medir la digestibilidad implican, el empleo de animales y, por tanto son costosos, en cuanto a tiempo, mano de obra calificada y análisis químicos necesarios; por ello se desarrollaron métodos alternos que son más rápidos, fáciles de efectuar y más baratos. Éstos consisten casi siempre en exponer los alimentos a la acción de enzimas digestivas como la pepsina, tripsina, celulasa, líquido ruminal, entre otras, e incubar las muestras un cierto período (Shimada, 2009).

1.6 *Paulownia elongata*

1.6.1 Generalidades

1.6.1.1 Lugar de origen

Paulownia elongata es una especie que lleva aproximadamente 2 600 años en China. Según leyendas y archivos, los pobladores de la antigua China utilizaban esta especie con propósitos terapéuticos y en la fabricación de instrumentos musicales. Se dice que “Cuando Rey Yui se enteró de las bondades de esta especie, decidió solicitar el que se realizara con dicha madera un ataúd”. Asimismo, Zhuang Tze en sus escritos (400 a.C.) menciona que las personas utilizaban plantaciones de *Paulownia* durante muchos siglos alrededor de sus viviendas, con la finalidad de traer la buena suerte (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

La *Paulownia* debe su nombre a la Gran Duquesa Anna Pavlovna de Rusia, hija del Zar Pablo I de Rusia. También se la conoce como árbol de la emperatriz. Aunque es originaria de China, Laos y Vietnam, se cultiva comercialmente desde hace tiempo en Corea y en también en Japón, donde se conoce como kiri, shimagiri o kawakami (que en realidad, esta última es una de las especies de *Paulownia*). En lengua inglesa se la conoce también como empress tree, princess tree, sapphire Princess, sapphire Dragon, o foxglove tree (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

En España, su nombre está castellanizado como Paulonia, aunque es más habitual referirse a ella por su nombre científico, concretamente, por el género, pues, en realidad, *Paulownia* no es una especie, sino un género que incluye hasta 17 especies según unos taxonomistas, aunque otros reducen ese número a 6, considerando al resto como variedades o subespecies (Lucas *et al.*, 2011).

1.6.1.2 Taxonomía

La *Paulownia* es una especie arbórea. Existen nueve especies de este género, y todas ellas se desarrollan principalmente en China (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

El nombre *Paulownia* fue otorgado por el botánico suizo Thuberg, quien lo publicó en Japanese Flora en 1781 bajo la clasificación de las *Bignoniaceae* y reconociéndole como especie *Bignonia Tomentosa* (*Paulownia tomentosa*). En 1835 Ducht Scholasrs, Zuccarni y Sibold la transfirieron al género de las *Scrophulariaceae* y encontraron 23 especies (Zhang y Le, 2011). Para 1959 Hu y otros científicos corrigieron las confusiones pasadas, determinando así sólo seis especies. En 1973 Zhu Zhao Hua y un grupo de científicos de la academia China de forestaría hicieron investigaciones sistemáticas corrigiendo el género y las especies, colocando al árbol de *Paulownia* en la familia *Scrophulariaceae* (Gutiérrez *et. al.* 2009). En la actualidad ha sido reubicada, formando parte de la familia monogénica *Paulowniaceae* (CONABIO, 2010). En el cuadro 1.1 se muestra la clasificación taxonómica de *Paulownia*.

Cuadro 1.1 Clasificación taxonómica de *Paulownia elongata*.

Reino	<i>Plantae</i>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	<i>Paulowniaceae</i>
Género	<i>Paulownia</i>
Especie	<i>elongata</i>

Fuente: CONABIO, 2010

La especie más conocida desde hace años es la *Paulownia tomentosa*, nombre que se debe al tomento o velloso que recubre el envés de sus hojas (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

Sin embargo, las que más se utilizan en explotaciones forestales son la *Paulownia elongata* (figura 1.1), la *Paulownia fortunei* y la *Paulownia kawakamii*. Y lo que suele ser más habitual por diversas ventajas, son variedades híbridas entre éstas (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

Una ventaja de estos híbridos es la mejoría sinérgica de la combinación de los parentales, superando a éstos (Zhang y Le, 2011).



Figura 1.1 Árbol de *Paulownia elongata*

1.6.1.3 Requerimientos Agroclimáticos

La *Paulownia* es un árbol caducifolio, aportando en el otoño una rica y abundante capa de hojarasca de rápida descomposición. Este compostaje mejora la calidad del suelo, tanto física, como químicamente, debido a la riqueza de nitrógeno de sus hojas, por lo que también se está plantando con la finalidad de recuperar terrenos baldíos (Llano *et al.*, 2010).

Al margen de los usos ornamentales, su uso forestal se basa en su rápido crecimiento, siendo el árbol de mayor generación de madera en pocos años, y de excelentes características. Por su adaptación a amplios márgenes climáticos y edafológicos, siempre que el suelo no sea muy arcilloso y el nivel freático esté a 2m de profundidad mínima, pues sus raíces son verticales y profundas y bajo encharcamiento permanente se pudren. Esas raíces permiten a la *Paulownia* buscar la humedad necesaria en climas semiáridos, siempre que los dos primeros años hayan tenido riego (Wang y Shogren, 1992).

El árbol de *Paulownia* tiene la capacidad de desarrollarse en suelos pobres o erosionados, siempre y cuando se le apoye con abono orgánico y con un sistema de riego. El grupo Agrícola Estrella S.A. de C.V. (empresa localizada en Michoacán, México) considera que *Paulownia* no es un árbol propio de zonas áridas, pero desde el punto de vista económico, esta especie desarrolla un óptimo uso de los recursos disponibles, y su capacidad de crecimiento es la más elevada del reino vegetal (Jiang *et al.*, 1994).

La *Paulownia* resiste temperaturas de -10 a 55°C, pero su temperatura ideal es 32°C. (Carolina Pacific Internacional Inc. 2005) señala que las heladas de invierno son benéficas para todas las especies de *Paulownia*; ya que acentúan el color y la textura de la madera; asimismo, destaca que el calor durante un periodo de cinco

a siete meses por año favorece el crecimiento debido a que es una especie de crecimiento considerable (Gutiérrez *et. al.*, 2005).

1.6.2 Introducción a México

La industria maderera en México actualmente demanda más de 25 millones de metros cúbicos de madera para muebles, empaques especiales y construcción; en contraposición, los tres mil productores que agrupa este sector apenas surten ocho millones de metros cúbicos de madera incluyendo el millón de metros cúbicos que exportan (Alcaráz y Duarte, 2006).

Como la producción nacional no ha sido suficiente para cubrir las necesidades de consumo, se ha tenido que importar gran parte de este material de países asiáticos, africanos e incluso americanos. Sin embargo, el panorama podría cambiar pronto gracias a la aportación de la biotecnología y a la introducción en México de especies maderables que crecen en menor tiempo que otras especies forestales. En relación con ello, una alternativa es el árbol cuyo nombre científico es *Paulownia elongata*, especie vegetal de gran follaje, originaria de China que por más de 20 años ha sido estudiada y sometida a experimentos en laboratorios australianos y estadounidenses, con la finalidad de acelerar su crecimiento (Cualli, 2002).

El rendimiento de *Paulownia elongata* se ha comparado con otras especies como el pino, encino y eucalipto, las cuales son altamente explotadas en la industria maderera, pero que requieren plazos entre 15 y 20 años antes de poder ser transformadas (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

El árbol de *Paulownia* es un vegetal genéticamente modificado que, a diferencia de otras plantas que intercambian la información hereditaria a través del polen transportado por el viento o los insectos, no modifican su entorno porque son

clones estériles que sólo se reproducen en el laboratorio o en campo a partir de esquejes de raíz. Cabe comentar que su esterilidad también evita que afecten negativamente a las especies que con él conviven, por lo que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) recomienda el proyecto de reforestar bosques con esta especie (Franco, 2002).

Por otro lado, es posible utilizar a las hojas de *Paulownia elongata* como fuente de forraje para la alimentación animal, ya que hay información de que puede presentar hasta un 20% de proteína cruda y 60% de digestibilidad, por lo que tiene un valor nutritivo excelente para los pequeños rumiantes (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

En México este producto es una posible solución al problema de la deforestación, pues según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), las actividades agropecuarias, los incendios, la tala ilegal, las plagas y enfermedades son los principales factores que provocan la pérdida anual de 678 000 hectáreas de recursos forestales en México (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

1.6.3 Usos

Principalmente, el valor industrial y comercial que tiene el género radica en su vertiginoso crecimiento (mucho mayor que el alcanzado por otras especies) hecho que lo hace muy productivo y rentable para quienes lo cultivan; sin contar que sus árboles han demostrado excelentes resultados en usos específicos como la fabricación de chapa y pulpa de papel, y para la producción de biomasa, entre otros (Ipekci *et al.*, 2001).

Entre otras de sus bondades se destacan la excelente calidad y belleza de su madera, que ofrece árboles ideales para recuperar, controlar y estabilizar la

erosión de suelos gracias a su profundo sistema radicular y que combate la contaminación, pues el gran tamaño de las hojas propias del género consumen el doble de CO₂ en relación a cualquier otro árbol haciéndolo ideal para proyectos de captación de gases que dañan la capa de ozono y por ende, es ideal para mitigar el calentamiento global (Fan *et al.*, 2001).

Además, *Paulownia* se ha utilizado ampliamente para el cultivo intercalado en sitios rurales de China. La Academia China de silvicultura ha informado que el cultivo intercalado con *Paulownia* puede reducir la velocidad del viento de 21-52% y reducir la evaporación en un 9.7% durante el día y un 4.3% en la noche. El contenido de humedad del suelo a 0-50cm se encontró que es 19,4% mayor que en los sitios de control. Por otra parte, *Paulownia* tiene un efecto moderador sobre el clima: la reducción de la velocidad del viento durante el invierno puede aumentar la temperatura en 1 ° C, mientras que la sombra proporcionada en el verano puede disminuir la temperatura en la misma cantidad (Nabil, 2003).

Una pequeña plantación de *Paulownia* puede ayudar a establecer la sustentabilidad para las pequeñas comunidades rurales. Los árboles pueden servir como una fuente sostenible de madera, leña y carbón. La madera también sirve como un buen material para el compostaje. Cuando se usa apropiadamente, *Paulownia* puede ayudar a mitigar los efectos de la ocupación humana sobre el medio ambiente, proporcionando un constante suministro sostenible de los recursos importantes (Nabil, 2003). Además de ser una alternativa forrajera que en México no ha sido caracterizada nutricionalmente (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

1.6.4 Utilización como alimento para animales

Los ganaderos y pastores utilizan desde hace mucho tiempo los árboles y arbustos forrajeros para alimentar a su ganado, pero sus prácticas tradicionales suelen ser extensivas: cortan ramas para dárselas a sus animales o dejan que

éstos ramoneen. Cuando es posible plantar árboles muy cerca unos de otros para desramarlos o escamondarlos de manera intensiva, su incorporación a los sistemas agrícolas puede reportar mayores beneficios económicos (Franzel *et al.*, 2003).

Al analizarse la situación actual, sobre la problemática por el tipo de prácticas en la alimentación animal, se llegó a la conclusión de que una de las prioridades debería ser la utilización de sistemas de producción combinados los cuales podrían integrar la forestería, la agricultura y/o ganadería con el objetivo de optimizar las tierras (Torquebiau, 1993).

Una forma de contrarrestar esta situación es la utilización de las hojas de *Paulownia* que constituyen un buen forraje para el ganado, tanto en verde, como henificado. Sin embargo, hay que recolectarlas y dar de comer en otro lugar, pues el ganado que entra en la plantación comerá también la corteza de las *Paulownias* o, si aún tienen poca altura, los brotes apicales. Como alternativa, se puede proteger cada árbol. Estas hojas son de gran tamaño, sobre todo en los primeros años de crecimiento, siendo habituales las de 40cm de diámetro e incluso de 60cm si las condiciones son óptimas (Nabil, 2003).

Las hojas de *Paulownia* son ricas en nitrógeno y altamente palatables para los animales; una vez acostumbrados a ellas, el ganado se alimenta de forma preferente de *Paulownia* (Nabil, 2003).

Las hojas y las flores de *Paulownia* son buen forraje para cerdos, gallinas, ovejas, vacas y conejos, ya que presentan buen valor nutritivo (Gutiérrez y Ocaña, 2009).

1.6.5 Valor nutritivo

Se han realizado análisis del valor nutritivo de las hojas de *Paulownia*, los cuáles se efectuaron en el Instituto de Investigación Forestal de Productos Químicos e Industria, de la Academia China de Silvicultura y se reportan en el cuadro 1.2

En México, se ha realizado un análisis sobre su valor nutritivo (cuadro 1.3); y aunque sirven como marco de referencia se debe considerar la época del año en que se realizó y las variaciones que se pueden presentar en el forraje por estas condiciones.

Cuadro 1.2 Análisis del valor nutritivo de hojas de *Paulownia* efectuado en el Instituto de Investigación Forestal de Productos Químicos e Industria, de la Academia China de Silvicultura.

		Academia China de silvicultura	Academia China de silvicultura
Extracto etéreo	%	7.59	
Cenizas	%	6.18	7.80
Proteína cruda	%	17.24	22.06
Ca	%	2.29	2.10
P	%	0.08	0.60

Fuente: Yao, 1990.

Cuadro 1.3 Análisis del valor nutritivo reportada en las hojas de *Paulownia elongata*.

		Base húmeda	Base seca
Materia seca	%	93.39	100
Humedad total	%	6.61	0
Proteína cruda	%	19.69	20.83
Extracto etéreo	%	3.29	3.52
Cenizas	%	7.71	8.25
Fibra detergente neutro	%	28.75	30.78
Extracto libre de Nitrógeno	%	34.19	36.62
T.N.D.	%	60.29	66.12

Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2005

2. Justificación

En la actualidad existen grandes problemas que afectan la producción animal, desde el punto de vista de la obtención de alimento; dentro de las cuales se encuentra el cambio climático, por lo que se buscan estrategias para combatirlo, dentro de los cuales se encuentran técnicas como la agroforestería y el uso de alternativas forrajeras. Una alternativa forrajera de reciente introducción a México es *Paulownia elongata* que llegó con fines de uso maderero, pero en su país de origen se ha investigado su utilización como alternativa para alimentación animal; por lo que se busca conocer su valor nutritivo y así potencializar su uso.

3. Objetivos

Objetivo general:

- Estudiar el valor nutritivo de las hojas *Paulownia elongata* en el periodo previo a su caída.

Objetivos específicos:

- Determinar la composición química de las hojas de *Paulownia elongata*.
- Comparar la composición química de *Paulownia elongata* con forrajes empleados en la alimentación animal de la zona.
- Determinar la presencia de factores antinutricionales.
- Determinar la digestibilidad *in vitro* de las hojas de *Paulownia elongata*.
- Calcular la energía de *Paulownia elongata*.

4. Materiales y métodos

4.1 Localización del área de estudio

El estudio se desarrolló del mes de agosto hasta octubre del 2011, en una plantación de *Paulownia elongata*, localizada en Zumpango, Estado de México.

Las muestras de *Paulownia elongata* se recolectaron en una plantación establecida en 2003 (figura 4.1). El cual se encuentra a 19 ° 40´ 50” de latitud Norte y 99° 06´ 00” de longitud Oeste y se ubica a una altitud de 2250 m.s.n.m., con un clima BS1k es decir un clima semi seco templado, con lluvias en verano. La precipitación oscila entre 500 a 600 mm y la temperatura media anual de 14°C a 18°C. El suelo es solonchak mólico (figura 4.2) (INEGI, 2010).



Figura 4.1 Plantación de *Paulownia elongata* en Zumpango, Estado de México.



Figura 4.2 Suelo solonchak mólico.

4.2 Obtención de muestras

Se realizaron cuatro muestreos durante el período comprendido de agosto a octubre de 2011, con un intervalo de tres semanas (cuadro 4.1). En cada muestreo se obtuvieron hojas de diez árboles de *Paulownia* seleccionados al azar, ya que el total de la población es alrededor de 100 árboles (figura 4.3), y de acuerdo a Morfín (2011), se debe tomar un 10% de la población total.

Las muestras se obtuvieron a diferentes alturas y diámetros y en ramas de diferente orden; al término del muestreo, el material se homogeneizó para formar una muestra compuesta (figura 4.4). Cada muestra obtenida tuvo un peso aproximado de 2 Kg y fue dividida en dos submuestras.

Con el fin de realizar una comparación entre el forraje de *Paulownia*, con forrajes de la zona, se realizaron muestreos de forrajes comercializados en la zona: dos muestreos de heno de alfalfa (*Medicago sativa*), heno de avena (*Avena sativa*) y ensilado de maíz (*Zea mays*); en Cuautitlán Izcalli, México. La comparación se realizara con un promedio de los cuatro muestreos de *Paulownia elongata*, los cuales se realizaron previo a la caída de hojas, lo que ocurrió la primera semana del mes de noviembre.

Las muestras de los forrajes anteriores se trasladaron al laboratorio de Bromatología de la FES-Cuautitlán UNAM; en donde a una de las submuestras, de cada muestreo, de *Paulownia* y las muestras de alfalfa, avena y ensilado de maíz se secaron a menos de 60 °C durante 48 horas para obtener la materia seca (MS) y posteriormente fueron molidas en un molino de Wiley (Morfín, 2011).

Cuadro 4.1 Fecha de muestreos de *Paulownia elongata*, así como la etapa fenológica en que se encontraba.

Muestreo	Fecha	Etapa fenológica
1	3 agosto	Vegetativa
2	25 agosto	Vegetativa
3	20 septiembre	60% floración
4	16 octubre	Floración



Figura 4.3 Población de árboles de *Paulownia elongata*.



Figura 4.4 Homogenización de muestreo y formación de 2 submuestras.

4.3 Determinaciones químicas

A las muestras anteriores se les determinó humedad total, proteína cruda (PC), cenizas (C), extracto etéreo (EE), según los métodos de la AOAC (1999). Además, a las muestras de *Paulownia* se les determinó la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (L) (Van Soest *et. Al.*, 1991). Asimismo, se les determinó calcio (Ca) y fósforo (P) (Morfín, 2011). El análisis a todas las muestras se determinó por cuadruplicado.

A las submuestras restantes, de cada muestreo de *Paulownia*, se les realizó pruebas cualitativas en fresco; para determinar la presencia de nitratos, nitritos, glucósidos cianogénicos así como de taninos a partir del ensayo con Vainillina/ácido sulfúrico (Martínez, 1994).

4.4 Digestibilidad *in vitro*

Se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica en las muestras molidas y secas de *Paulownia elongata*, para lo cual se empleó la técnica de Tilley y Terry (Morfín, 2011).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{DIVMS} = \frac{\text{gMSi} - (\text{gMSD} - \text{gMSb})}{\text{GMSi}} \times 100$$

DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

MSi = Materia seca inicial

MSD = Materia seca no digerida

MSb = Materia seca del blanco

En el caso de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{DIVMO} = \frac{\text{gMOi} - (\text{gMOd} - \text{gMOb})}{\text{GMOi}} \times 100$$

DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

MOi = Materia orgánica inicial

MOd = Materia orgánica no digerida

MOb = Materia orgánica del blanco

4.5 Energía

Con los datos obtenidos de las determinaciones se calculó el total de nutrientes digestibles (T.N.D.), energía digestible (E.D.) y energía Metabolizable (E.M.); empleando las siguientes fórmulas (Morfín, 2011):

$$\text{T.N.D.} = (\text{P.C. digestible}) + (\text{E.L.N. digestible}) + (\text{F.D.N. digestible}) + (\text{E.E. digestible})(2.25)$$

$$\frac{\text{g T.N.D.}}{100 \text{ g alimento}}$$

$$\text{ED} = \% \text{ T.N.D.} \times 4.4$$

$$\frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g alimento}}$$

$$EM_{\text{rumiantes}} = ED(\text{Kcal/Kg}) \times 0.82$$

$$\frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g}} \\ \text{alimento}$$

$$EM_{\text{cerdos}} = ED(\text{Kcal/Kg}) \times 0.92$$

$$\frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g}} \\ \text{alimento}$$

4.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las determinaciones de proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, calcio y fósforo, así como FDN, FDA y lignina; las determinaciones de digestibilidad y los cálculos de energía para las muestras de *Paulownia elongata* fueron analizados con estadística descriptiva.

A los resultados de cada determinación se les aplicó un análisis de varianza, con un diseño totalmente al azar, las diferencias estadísticas se obtuvieron con la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$. (Daniel, 2004).

5. Resultados

5.1 Composición química

En el cuadro 5.1 se presenta la composición química de *Paulownia elongata* durante el periodo de estudio, resalta que conforme avanza la madurez de la planta las fracciones de proteína cruda y extracto etéreo aumentan su valor; sin embargo, en el último muestreo disminuyeron. En el caso de cenizas y al calcio, éstos incrementan su valor progresivamente, a diferencia del fósforo que se mantiene constante.

5.2 Fracciones de Van Soest

En el cuadro 5.2, se muestran los resultados obtenidos de las fracciones del Van Soest en las hojas de *Paulownia elongata*, se observa que la FDN decrece progresivamente conforme se acerca el momento de la caída de las hojas; en el caso de la FDA se mantienen constante, sin embargo, en el último muestreo se incrementa su contenido; y la lignina presenta un aumento progresivo durante los cuatro muestreos. Asimismo, en el caso de los minerales insolubles su comportamiento es constante en los primeros dos muestreos mientras que en los últimos se incrementa.

5.3 Comparación de la composición química entre forrajes

En el cuadro 5.3 se compara la composición química de *Paulownia* con forrajes que se comercializan en la zona, resalta que *Paulownia elongata* presenta mayor contenido de proteína en comparación con el heno de avena y ensilado de maíz, pero menos que el heno de alfalfa; en lo que corresponde a la fracción de extracto etéreo es mayor en comparación con el heno de alfalfa y de avena y menor que el ensilado de maíz.

5.4 Factores antinutricionales

En el cuadro 5.4, se muestran los resultados obtenidos de presencia de factores antinutricionales, destaca que *Paulownia elongata* solo presenta glucósidos cianogénicos en cualquier momento previo a la caída de las hojas.

5.5 Digestibilidad *in vitro*

En el cuadro 5.5 se exponen los resultados de la digestibilidad de la materia seca y de la materia orgánica de las hojas de *Paulownia*, destaca que hay una disminución del primero al segundo muestreo e incremento del tercero al cuarto.

5.6 Energía

En cuanto a energía destaca la tendencia a disminuir conforme avanza el tiempo (cuadro 5.6).

Cuadro 5.1. Composición química en base seca de hojas de *Paulownia elongata* en los meses previos a la caída de las hojas.

Fecha Etapa fenológica		3 Agosto Vegetativa	25 Agosto Vegetativa	20 Septiembre 60% Floración	16 Octubre Floración
Materia seca	%	32.35	30.68	36.69	30.8
Extracto etéreo	%	4.44 ^d ±0.06	6.32 ^b ±0.24	7.29 ^a ±0.25	5.54 ^c ±0.24
Cenizas	%	7.62 ^d ±0.09	8.55 ^c ±0.20	9.81 ^b ±0.16	10.76 ^a ±0.10
Proteína cruda	%	14.25 ^c ±0.34	14.52 ^b ±0.25	14.79 ^a ±0.11	14.24 ^c ±0.08
Ca	%	1.48 ^b ±0.20	1.52 ^b ±0.09	1.87 ^a ±0.05	1.91 ^a ±0.03
P	%	0.15 ^a ±0.01	0.14 ^b ±0.01	0.13 ^b ±0.01	0.13 ^b ±0.01

^{a,b,c,d} Letras distintas en el mismo renglón son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 5.2. Fracciones de Van Soest de *Paulownia elongata* en los meses previos a la caída de las hojas.

Fecha Etapa fenológica		3 Agosto Vegetativa	25 Agosto Vegetativa	20 Septiembre 60% Floración	16 Octubre Floración
FDN	%	48.96 ^a ±0.07	45.06 ^b ±0.13	44.25 ^c ±0.19	43.43 ^d ±0.27
FDA	%	24.31 ^b ±0.27	24.30 ^b ±0.08	24.29 ^b ±0.14	24.78 ^a ±0.13
LIGNINA	%	7.60 ^d ±0.33	8.42 ^c ±0.12	12.97 ^b ±0.19	13.63 ^a ±0.06
Minerales Insolubles	%	0.21 ^c ±0.02	0.22 ^c ±0.03	0.86 ^b ±0.03	0.98 ^a ±0.01

FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido.

^{a,b,c,d} Letras distintas en el mismo renglón son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 5.3. Comparación de la composición química de hojas de *Paulownia elongata* con heno de avena, heno de alfalfa y ensilado de maíz, en base seca.

Muestra		<i>Paulownia elongata</i> [£]	Heno de avena	Heno de alfalfa	Ensilado de maíz
Extracto etéreo	%	4.47	2.98	4.42	6.23
Cenizas	%	9.16	7.17	15.85	11.75
Proteína cruda	%	14.45	7.56	18.11	8.80
Fibra detergente neutro	%	45.43	65.45	42.71	63.64

[£]: Promedio de los cuatro muestreos realizados a *Paulownia elongata*.

Cuadro 5.4. Presencia de tóxicos en *Paulownia elongata* en los meses previos a la caída de las hojas.

Fecha	3 agosto	25 agosto	20 de septiembre	16 octubre
Etapas fenológicas	Vegetativa	Vegetativa	60 % de floración	Floración
NO ₂	-	-	-	-
NO ₃	-	-	-	-
Taninos	-	-	-	-
Glucósidos cianogénicos	+	+	+	+

-: Ausencia

+: Presencia

Cuadro 5.5. Digestibilidades de la materia seca y de la materia orgánica de hojas de *Paulownia elongata* en los meses previos a la caída de las hojas.

Fecha	3 agosto	25 agosto	20 de septiembre	16 octubre
Etapas fenológicas	Vegetativa	Vegetativa	60 % Floración	Floración
DIVMS	% 57.44 ^a ±0.20	54.61 ^d ±0.18	56.51 ^b ±0.16	56.14 ^c ±0.12
DIVMO	% 60.91 ^a ±0.19	57.95 ^d ±0.17	59.05 ^b ±0.18	58.95 ^c ±0.14

DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO: : Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

^{a,b,c,d} Letras distintas en el mismo renglón son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 5.6. Contenido de energía en *Paulownia elongata* en los meses previos a la caída de las hojas, en términos de Total de Nutrientes Digestibles (T.N.D.), Energía Digestible (E.D.), Energía Metabolizable (E.M.) para Rumiantes y Cerdos.

Fecha		3 agosto	25 agosto	20 de septiembre	16 octubre
Etapa fenológica		Vegetativa	Vegetativa	60 % de floración	Floración
T.N.D.	g/100g	59,65 ^a ±0,21	57,57 ^c ±0,19	58,64 ^b ±0,18	56,69 ^d ±0,13
E.D.	Mcal/kg	2,62 ^a ±0,01	2,53 ^c ±0,01	2,58 ^b ±0,01	2,49 ^d ±0,01
E.M. Rumiantes	Mcal/kg	2,15 ^a ±0,01	2,08 ^c ±0,01	2,12 ^b ±0,01	2,05 ^d ±0,00
E.M. Cerdos	Mcal/kg	2,41 ^a ±0,01	2,33 ^c ±0,01	2,37 ^b ±0,01	2,29 ^d ±0,01

^{a,b,c,d} Letras distintas en el mismo renglón son estadísticamente diferentes (P<0.05)

6. Discusión

El comportamiento de proteína cruda y extracto etéreo en los meses previos a la caída de las hojas de *Paulownia elongata*, es decir la disminución de estos conceptos en el último muestreo, se explica porque los depósitos de nitrógeno y la utilización de éste son estacionales, lo que significa que en la época de otoño, los depósitos de éste pasan de las hojas a los tallos y raíces ya que están próximas a caer; además de estar asociados a cambios dados por el crecimiento de los árboles (Raghavendra, 1991) por tanto se puede atribuir al estado de madurez de *Paulownia* (Ruíz *et.al.*, 1994). Es importante señalar que el nitrógeno deja de acumularse en las hojas, cuando estas alcanzan su madurez (Raghavendra, 1991). De igual forma se explica el comportamiento del extracto etéreo, el cuál disminuye en las hojas de los árboles caducifolios en la época cercana a la caída de éstas (Raghavendra, 1991). Dado que *Paulownia* perdió sus hojas en noviembre, eso explica los resultados obtenidos en el último muestreo, en donde el árbol de *Paulownia* comienza a almacenar sus nutrientes en tallos y raíces, preparándose a la pérdida de sus hojas; lo cual, se relaciona con el cambio en la temperatura ambiental, ya que a mayor temperatura ambiental y menor disponibilidad de agua desciende el contenido de proteína (Romero, 2006).

El comportamiento de cenizas, FDA y lignina, refuerzan lo explicado anteriormente ya que *Paulownia*, al comenzar a prepararse, para perder sus hojas y almacenar sus nutrientes, sufre un proceso de lignificación e incremento de minerales insolubles (Raghavendra, 1991). Esto repercute a su vez en la digestibilidad ya que la lignina es indigestible y a medida que su concentración aumenta la digestibilidad de la pared de la célula disminuye, debido a la unión que realiza la lignina con la celulosa y la hemicelulosa (Anzola, 2007).

Los contenidos de FDN en las hojas de *Paulownia* en el periodo de estudio son similares a los que presentan leguminosas forrajeras en general (Ramírez *et al.*, 2005), los cuales reportan datos de 40 hasta 49% de FDN (García *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2007), y a partir de los datos expuestos se puede inferir que los contenidos de hemicelulosa; ocupan la mitad del porcentaje de la fibra detergente neutro, lo cual podría implicar un alto aprovechamiento de esta fracción, para rumiantes (Church *et al.*, 2010). Se considera que hay aumento de FDN y FDA a medida que aumenta la edad del forraje (Anzola, 2007), sin embargo los resultados de FDN no son congruentes con el comportamiento normal que tendría un forraje, por lo que se deberá profundizar en ese aspecto.

La digestibilidad de *Paulownia* se puede considerar intermedia en comparación, con alfalfa que tiene una digestibilidad promedio de 70% (Sanz-Sáeza *et al.*, 2012) y un rastrojo con un 40% (Josifovich, 2001), sin embargo, en comparación con el follaje de leñosas de la zona árida su digestibilidad es similar (Ramírez *et al.*, 2005).

Al comparar los resultados obtenidos de *Paulownia* con heno alfalfa, heno de avena y ensilado de maíz; se encontraron que los contenidos de proteína cruda son menores a los que contiene una alfalfa achicalada, cabe resaltar que la alfalfa es una leguminosa (Minson, 2011) y *Paulownia* pertenece a otra familia botánica (Zhang y Le, 2011).

Es importante señalar que *Paulownia* no cubre con las necesidades proteicas de animales, en producción como vacas lecheras (Shimada, 2009). Sin embargo contiene mayor cantidad de proteína que el heno de avena y ensilado de maíz, ambos pertenecientes a la familia de las gramíneas (Herrera, 2005); esta familia botánica se caracteriza por tener bajo contenido proteico (Blair, 1990).

De los factores antinutricionales en *Paulownia*, la presencia de glucósidos cianogénicos en todo el periodo estudiado podría ser una limitante para su uso en la alimentación animal (Carmona, 2007), sin embargo, se requiere ahondar en este aspecto.

En cuanto a la energía que puede aportar *Paulownia*; es semejante al aporte de los forrajes que se emplean comúnmente en la alimentación animal (Minson, 2011). Por tal motivo como dieta única en la alimentación animal no es recomendable, ya que su aporte energético, solo alcanzaría a cumplir con las necesidades de animales en mantenimiento y no en animales en producción (Church *et al*, 2010), por ejemplo, una vaca productora de leche requiere consumir de 2.4 a 2.9 Mcal/Kg de Energía Metabolizable (E.M.), mientras que un conejo requiere 2.3 Mcal/Kg de E.M. (Shimada, 2009), por tal situación no se sugiere emplearlo como dieta única, se debe emplear otros ingredientes que ayuden a cubrir las necesidades energéticas de los animales.

En cuanto al uso en la alimentación animal de *Paulownia*, de acuerdo a su composición química se puede emplear en la alimentación de rumiantes. Sin embargo, para su uso en caballos y conejos requeriría investigación, aunque en el caso de otros no rumiantes se ha hecho investigaciones para incrementar el uso de fuentes fibrosas (harinas de follaje de leguminosas y gramíneas), como una alternativa alimentaria de bajo costo (Savón, 2002).

Para el uso de *Paulownia* se requeriría conocer la respuesta biológica del animal con base a la utilización de *Paulownia elongata* como forraje que constituya la dieta o parte de la misma. (Montilla, 1994; Lon, 1995 y Belmar-Casso, 1998).

Frente al cambio climático *Paulownia* podría ser una alternativa para enfrentarlo porque se podría incluir en sistemas ganaderos, mediante modelos silvopastoriles, con lo que se contribuiría a la fijación de carbono y a la alimentación animal (Murgueitio *et al.*, 2008). Por otro lado, para disminuir la producción de metano, el cual proviene de las actividades pecuarias, principalmente de bovinos y ovinos; se requiere que los alimentos presenten una alta digestibilidad (Cambra-Lopez *et al.*, 2008), en este caso *Paulownia* tiene una digestibilidad intermedia y que al combinarla con otro forraje, si este es de alta digestibilidad se podría disminuir la emisión de bióxido de carbono y metano (Cambra-Lopez *et al.*, 2008).

7. Conclusiones

Previo a la caída de las hojas de *Paulownia elongata*, se presenta una disminución de proteína cruda y extracto etéreo y un aumento en fibra detergente ácido y lignina.

Paulownia elongata puede proporcionar más proteína que una gramínea, pero menos que una leguminosa en comparación con forrajes de la zona.

Paulownia elongata presenta glucósidos cianogénicos, los cuales podrían repercutir en la salud animal.

Paulownia elongata tiene una digestibilidad mayor a la de un rastrojo, pero menor a la de una alfalfa.

Paulownia elongata tiene un aporte energético bajo, característico de un forraje.

8. Bibliografía

- Alcaráz ML, Duarte AJA. 2006. Perspectiva general de la industria maderera nacional y propuesta del cultivo del árbol maderable Paulownia (*Paulownia sp.*) como un agronegocio alternativo para Baja California Sur y zonas semiáridas. Rev. Mexicana de Agronegocios. Universidad Autónoma de la Laguna. Torreón, México. 10;18:1-14.
- Anzola DJC. 2007. Experiencias en el uso de forrajes de calidad en un sistema intensivo de producción lechera. IX Seminario Manejo y utilización de pastos y forrajes en Sistemas de Producción Animal. Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela: 100-104.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists. 16th ed. Washington, DC: Association of Analytical Chemists; 1141.
- Belmar-Casso, R. 1998. Recursos no convencionales en la alimentación de animales no rumiantes. La experiencia del Departamento de Nutrición Animal. Universidad Autónoma de Yucatán, México, 10 pp.
- BIRF, 2010. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Desarrollo y cambio climático. Panorama general, Un nuevo clima para el desarrollo. Informe sobre el desarrollo mundial.
- Blair, G.J. 1990. The diversity and potential value of shrubs and tree fodder, en *Shrubs and Tree Fodder for Farm Animal*, Proceedings of a Workshop in Denpasar, Indonesia, International Development Research Center (IDRC) 276e, Ottawa, Canadá, 2-11.
- Brodie J, Post E, Watson F, Berger J. 2012. Climate change intensification of herbivore impacts on tree recruitment. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences; 279;1732:1366-1370.
- BSAS, 2008. Proceedings of the British Society of Animal Science. Mitigating climate change: The role of livestock in agriculture M E Gill, P Smith University of Aberdeen, Aberdeen, United Kingdom; 280-290.

- Cambra-López M, García R, Estellés F, Torres A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. Instituto de Ciencia y Tecnología Animal. Universidad Politécnica de Valencia, España. Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid, España. Arch. Zootec. 57;R: 89-101.
- Carmona AJC. 2007. Efecto de la utilización de arbóreas y abustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. Rev. Lasillista de investigación. Corporación universitaria Lasillista. Antioquía Colombia; 4;1:40-50.
- Church DC, Pond WG, Pond KR. 2010. Fundamentos de nutrición y Alimentación de Animales. 3° Ed. Editorial Limusa-Wiley. México; 305-325.
- CONABIO. 2010. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Catalogo taxonómico de especies en México.
- Cualli L. 2002. *Paulownia elongata* un vegetal genéticamente modificado, atractivo para la industria maderera y la construcción. Oportunidades, México; Dic, 23:3.
- Daniel WW. 2004. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª ed. México: Ed. Limusa Wiley; 185-190, 314-317.
- Delgado DC, La OO, Chongo B. 2007. Composición bromatológica y degradabilidad ruminal in situ de leguminosas tropicales herbáceas con perspectivas de uso en los sistemas productivos ganaderos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba; 41;4:343-346.
- Doering OC, Randolph JC, Southworth J, Pfeifer RA. 2002. Effects of Climate Change and Variability on Agriculture Production Systems. Kluwer Academic Publishers; 296.
- Fan GQ, Zai XQ, Zhai CJ, Bi HT. 2001. Callus induction from leaves of different *Paulownia* species and its plantlet regeneration. J For Res 12:209-214.
- FAO, 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería, a examen. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia; 59-85.

- Franco P. 2002. Negocios forestales a la sombra del árbol chino. México, Terra América.
- Franzel, S., Wambugu, C. y Tuwei, P. 2003. The adoption and dissemination of fodder shrubs in central Kenya, Agricultural Research and Network (AGREN) Series Paper No. 131. Londres, Instituto de Desarrollo de Ultrama.
- García DE, Medina MG, Moratinos P, Cova LJ, Torres A, Santos O, Perdomo D. 2009. Chemical-nutritional characterization of leguminous fodder and other botanic families using descriptive and multivariate analysis. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Estado Trujillo, Venezuela. Universidad de los Andes, Estado Trujillo, Venezuela. Avances en Investigación Agropecuaria; 13;2: 25-39.
- Gasper R, Blohm A, Ruth M. 2011. Social and economic impacts of climate change on the urban environment. Current Opinion in Environmental Sustainability; 3;3:150-157.
- Gobierno de Canarias, 2007. Gafo FI. Boletín. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático. Estrategia Canaria de Lucha Contra el Cambio Climático; 5 – 110.
- Gutiérrez L JL, Reyes GR, Villalobos DMA. 2005. Evaluación del comportamiento y adaptación del árbol de *Paulownia elongata* en condiciones semiáridas en Zumpango, Estado de México.
- Gutiérrez L JL, Ocaña DR, 2009. Manual para el cultivo de *Paulownia elongata*. Universidad Autónoma del Estado de México, México; 13-29.
- Herrera RS. 2005. Evaluación de gramíneas. Contribución del Instituto de ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 39;3:253-259.
- INEGI. 2010. Anuario Estadístico del Estado de México. Consultado el 15 de febrero 2012..
- ICRAF. 1990. International Council for Research in Agroforestry. Strategy to the Year 2000. Nairobi, Kenya; 7.

- Ipekci Z, Altinkut A, Kazan K, Bajrovic K, Gozukirmizi N. 2001. High frequency plant regeneration from nodal explants of *Paulownia elongata*. *Plant Biol (Stuttg)*; 3:113-115.
- Jiang Z, Gao L, Fang Y, Sun X. 1994. Analysis of Paulownia-intercropping types and their benefits in Woyang County of Anhui. Province, *Forest Ecology and Management*; 67;1-3:329-337.
- Josifovich JA. 2001. Rastrojos y residuos en la producción de carne bovina. Departamento de Producción Animal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, prov. de Córdoba, Argentina. 15-20pp.
- Llano SJM, Alcaraz ML, Castellanos VAE. 2010. Gas exchange in Paulownia species growing under different soil moisture conditions in the field. *Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology, India*, 31;4:497-502.
- Lon WE. 1995. Alimentación no convencional para las aves en el trópico. XIV Congreso Latinoamericano de Avicultura. Memorias. Santiago, Chile. p. 7.
- López TG. 2007. Sistemas agroforestales. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla 2007; 8.
- Lucas BME, Wic BC, Moreno JL, Dadi T, García C, Andrés A. 2011. Microbial activity in soils under fast-growing Paulownia (*Paulownia elongata* x *fortunei*) plantations in Mediterranean areas Manuela, *Applied Soil Ecology*; 51:42-51.
- Martínez YJ. 1994. Determinación de tóxicos (glucósidos cianogénicos, nitratos y nitritos, oxalatos y taninos) en *Acacia saligna*. (Tesis de Licenciatura). Cuautitlán Izcalli, Estado de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Mc Donald P, Edwards RA, Greenhalgh TFD, Morgan CA. 2002. Nutrición animal 6º ed. Editorial Acribia, Zaragoza España.
- Minson DJ. 2011. Forage in Ruminant Nutrition. Editorial Academic Press. Universidad de Wisconsin-Madison. 1-58.

- Montilla, J.J. 1994. Agricultura para la alimentación de las aves y cerdos en el trópico. II Encuentro Regional de Nutrición y Alimentación de Monogástricos. Memorias. La Habana, Cuba. p 1.
- Morfín LL. 2011. Manual de Laboratorio de Bromatología. Universidad Nacional Autónoma de México; 58:43-91.
- Moya RFG. Ramírez LRG. Foroughbakhck PR. Háuad ML. González RH. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. Ciencia UANL, 5;1:59-65.
- Murgueitio RE, Naranjo JF, Augusto CC, Hernando MC, Lalinde F. 2008. Los sistemas silvopastoriles intensivos una herramienta de desarrollo rural sustentable con adaptación al cambio climático en regiones tropicales de América. Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Animal. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia; 1-12.
- Murillo AB, López AR, García JL, Nieto GA, Troyo DE, Ávila SN, Espinoza JL, Ortega PR, Palacios EA, Plascencia JA. 2009. Foro Consultivo, Científico y Tecnológico. Cultivos forrajeros alternativos para zonas áridas. Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo, La Paz Baja California Sur, México. 1;21:45-50.
- Musálem SMA. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales; 120.
- Nabil E. 2003. The Paulownia tree an alternative for sustainable forestry. The farm. Crop Development. Morocco, Africa.
- ONU 1998. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Protocolo de Kioto.
- Ortiz G. 1996 La agroforestería en Ecuador. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago.
- Palma GJM, Nahed TJ, Sanginés L. 2011. Agroforestería pecuaria en México. Alternativas para una conversión ganadera sustentable. Universidad de

- Colima, El Colegio de la Frontera de Sur, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán; 127-130
- PNUM/ORPALC. 2005. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Cambio Climático. Proyecto Ciudadanía Ambiental Global. Manual De Ciudadanía Ambiental Global. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Raghavendra A.S. 1991. Physiology of trees. Wiley-Interscience publication. Estados Unidos de América. Cuba; 51-77.
- Ramírez OR. Ramírez RG. González RH. Haenlein GFW. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. Small Ruminant Research., 57;1:1-10.
- Romero YO. 2006. Estacionalidad en la producción de forrajes. Tierra Adentro. Ganadería y Praderas. Revista semestral. INIA, Centro Regional Carillanca; 36-39.
- Ruiz NI. Chahín AG. Pedraza GC. 1994. Variación de la composición química y la digestibilidad de algunos forrajes durante su temporada de uso en dos lecherías de la región metropolitana. Agricultura Técnica. Chile, 54;2:160-168.
- Sanz-Sáeza A, Ericea G, Aguirreolea J, Muñoz F, Sánchez-Díaza M, Irigoyena JJ. 2012. Alfalfa forage digestibility, quality and yield under future climate change scenarios vary with *Sinorhizobium meliloti* strain. Departamento de Biología Vegetal, Sección Biología Vegetal (Unidad Asociada al CSIC, EEAD, Zaragoza e ICVV, Logroño), Facultades de Ciencias y Farmacia, Universidad de Navarra, Pamplona, Spain. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Zaragoza, Spain. Journal of Plant Physiology 169:782– 788.
- Savón L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba; 36;2:91-102.
- SEMARNAT. 2009. Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos. SHCP. La economía del cambio climático en México.

- Shimada M.A. 2009. Nutrición animal, 2a ed, Editorial Trillas, México D.F; 397.
- Tang RC, Carpenter SB, Wittwer RF, Graves DH. 1980. *Paulownia* - a crop tree for wood production and reclamation of surface mined land. S. J. Appl For; 4;1:19-24.
- Torquebiau E. 1993. Conceptos de Agroforestería: Una introducción. Universidad Autónoma de Chapingo México: 1-14.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharido in relation to animal nutrition. J. Dairy. Sci. 74:3583-3597.
- Wang Q, Shogren JF. 1992. Characteristics of the crop-paulownia system in China Agriculture, Ecosystems & Environment; 39;3-4:p.145-152.
- Wood PJ, Burley J. 1995. Un árbol para todo propósito. Introducción y evaluación de árboles de uso múltiple para Agroforestería ICAF-IICA. San José, Costa Rica: 60 -150.
- Yao GX. 1990. Final technical report of Paulownia project (Phase II). International Development Research Centre (IDRC). Ottawa, Canada and Chinese Academy of Forestry Beijing, China; 126.
- Zhang D, Li X. 2011. Studies on the chemical constituents from the leave of *Paulownia tomentosa*. Journal of Chinese medicinal materials; 34;2:232-234.