

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y**  
**DEL MEDIO NATURAL**

**DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS AGROFORESTALES**



**TIPIFICACIÓN ECOLÓGICA Y BROMATOLÓGICA DE ESPECIES LE-  
ÑOSAS FORRAJERAS, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO NARANJO, SAN  
MARCOS, GUATEMALA, 2014**

**TESIS DOCTORAL**

**Rubén Francisco Ruiz Mazariegos**

**Director Académico:  
Dr. Herminio Boira Tortajada**

**Valencia, enero 2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Realizar un trabajo de esta naturaleza es una tarea ardua, que involucra a muchas personas que de una u otra forma contribuyen al enriquecimiento del mismo, es por eso que con todo el corazón agradezco a cada una de las personas que me han ayudado a alcanzar la meta propuesta.

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, que me ha dado la vida, le energía, la ciencia y la sabiduría para poder sistematizar los conocimientos adquiridos en esta tesis. Seguidamente a mis padres, hermanos, esposa, hijos e hijas, por su valioso e incondicional apoyo durante el tiempo que estuve en Valencia, España, realizando mis estudios para obtener este grado académico, sin el cual no hubiese sido posible, porque, mi estadía en Europa, signifió la separación de esta bella familia por muchos años y meses, sin embargo por medio de mensajes de texto y conversaciones telefónicas, siempre me hicieron sentir muy cerca de ellos.

También quiero agradecer a mis tías, primos, sobrinos y nietos por mandarme mensajes de aliento para que siguiese adelante. Así mismo quiero darle las gracias a mi estimado Dr. Herminio Boira, porque no cabe duda que sin su valioso apoyo y acertadas orientaciones para el análisis e interpretación de los resultados, así como para la redacción final de esta tesis no hubiese sido posible alcanzar este objetivo, por eso le digo HERMINIO MUCHAS GRACIAS MAESTRO.

También agradezco a mis amigos del Centro Universitario de San Marcos (CUSAM-USAC), especialmente a Vikis, Chinito, Byron, Robert, Roque, Oscar, German, Mario, Edwin Rene, Lorena, al gran Deivis, a la maestra Eugenia Makepeace, maestro Oscar Anleu y a Carlos Alvarado cerezo rector magnífico de la USAC.

Por otro lado también les agradezco a mis amigos que me ayudaron en la redacción final de esta tesis, especialmente a Salvador Bolaños quien dedicó tiempo y esfuerzo a la interpretación estadística de este trabajo así también a José Vicente, Jorge Juárez, Armando de León, David Armando Sum y al maestro Erik Iván en la estructuración del documento final

Y a todos mis compañeros del CUSAM e IDICUSAM por su incondicional apoyo en la realización de mi doctorado.

También no quiero dejar pasar por alto la amistad recibida por los peruanos, colombianos, argentinos, chilenos, venezolanos, bolivianos, brasileros y españoles, especialmente a Flabio, por haber compartido momentos tan especiales y divertidos en las noches bohemias de los fines de semana en Valencia, así como a Nuvia por habernos preparado las comidas con mucho gusto y dedicación.

Agradecer la amistad y apoyo recibido por mis compañeros de estudio, especialmente a Mar, Margarita, Berta, Gabriel, Juan y Sugenit.

Quiero hacer mención del gran apoyo recibido por las personas que me permitieron entrar a su casa y colocar las estaciones metrológicas, especialmente a Don Efraín Bonilla, Juan González, German López y don Pedro Fuentes Juárez, gracias estimados amigos.

Finalmente quiero agradecer también a mis profesores del departamento de producción vegetal y ecosistemas agroforestales, en especial a Bernardo Pascual, José Alagarda, Vicente Maroto, Manuel Abad, Francisco Ferragut, Ferran, Mercedes Verdeguer, y José García Jiménez, por compartir sus valiosos conocimientos conmigo; los cuales fueron aplicados en la realización de esta investigación.

## **PUBLICACIONES Y CONGRESOS**

Ruiz, R., Benavides, J., (1994). Manejo de leñosas con potencial forrajero en el departamento de San Marcos, Guatemala, Árboles y arbustos forrajeros en América Central, Volumen 1. CATIE, Turrialba Costa Rica 1994.

Ruiz, R.(2012). Recursos forestales de la microcuenca del río Naranjo, San Marcos, Guatemala; periódico Universitario, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ruiz, R. (2013) Recursos forrajeros y forestales una alternativa para la alimentación animal, revista Proyección Científica, Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de san Marcos CUSAM-USAC

Ruiz, R. (2013). Estudio de leñosas forrajeras para alimentación animal en la microcuenca del río Naranjo, San Marcos, Guatemala, tercer congreso internacional sobre cambio climático, ordenamiento territorial y seguridad alimentaria, Centro Universitario de Occidente, CONOC/USAC.

Ruiz, R. (2015). Tipificación ecológica y bromatológica de especies leñosas forrajeras en la microcuenca del río Naranjo, San Marcos, Guatemala. XII congreso de ingenieros agrónomos, ambientales y agrimensura, ciudad de Guatemala.

## RESUMEN

En el departamento de San Marcos, Guatemala, en las últimas décadas uno de los aspectos que más ha preocupado a los productores agrícolas es la baja producción que obtienen de sus cultivos y especies pecuarias. Por lo anterior se decidió llevar a cabo el estudio "Tipificación ecológica y bromatológica de especies leñosas forrajeras, en la microcuenca del río Naranjo"

Los objetivos de la investigación se centran en establecer las características bioclimáticas y condiciones ecológicas en donde se desarrollan las especies forrajeras *Erythrina berteroana* Urb. (miche o pito), *Bohemeria caudata* Swartz (engorda ganado o sacla) *Verbesina apleura* S.F. Blake (copal), *Polymnia maculata* Cav. (bilil o vara de cohete) y *Fuchsia arborescens* L. (moradillo). Así mismo, conocer la composición bromatológica de dichas especies a través de análisis fitoquímicos, conocer el tipo de suelo e identificar los sistemas agroforestales en el área de estudio y cuantificar su potencial forrajero

Desde el punto de vista bioclimático el área de estudio se caracteriza por los siguientes índices: continentalidad (Ic) 2,2; termicidad (It) 3,9; ombrotérmico (Io) 8,7; temperatura positiva anual (Tp) 1,7°C; precipitación positiva (Pp) 1458 mm y una temperatura media anual (Tm) de 14°C. Le corresponde una vegetación clímax propia de selva pluvies-tacional.

Los suelos son de pH ligeramente ácido, ricos en fósforo, potasio y materia orgánica, con una textura predominantemente arenosa. Respecto al valor nutricional y pascícola de los taxones estudiados, los mejores resultados en contenido de proteína cruda corresponden a *E. berteroana* con 30,7% ( $\pm 2,1$ ), *P. maculata* 29,9% ( $\pm 0,4$ ) y *B. caudata* 27,0% ( $\pm 3,3$ ); mientras que los contenidos de fibra cruda más elevados correspondieron a *E. berteroana* con 29,1% ( $\pm 5,7$ ) y *F. arborescens* con 19,8% ( $\pm 1,1$ ), respecto a materia seca los mejores valores corresponden a *B. caudata* y *V. apleura* con 17,6% ( $\pm 4,2$ ) y 16,3% ( $\pm 3,0$ ) respectivamente.

Cabe destacar que el mayor contenido de proteína se encuentra en el sistema agrosilvopastoril, con 91,72%, valores obtenidos de los datos reportados por el laboratorio de bromatología; predominando en

este sistema las especies *E. berteroana*, *B. caudata*, *V. apleura* y *P. maculata*; le sigue en orden de importancia con sus componentes vegetales el sistema de cultivos en fajas con 49,08 de proteína, compuesto principalmente por *E. berteroana*, *P. maculata* y *V. apleura*.

## ABSTRACT

In the department of San Marcos, Guatemala, in recent decades one of the aspects that has most worried the farmers is the low production they get from their crops and livestock species. Therefore it was decided to conduct the study "ecological bromatological typing and forage woody species in the watershed of the Naranjo River"

The objectives of the research focus on establishing the bioclimatic features and ecological conditions where forage species develop *Erythrina berteroana* Urb. (Miche or whistle), *caudata* *Bohemeria Swartz* (cattle fattening or SACLA) *Verbesina apleura* SF Blake (copal), *Polymnia maculata* Cav. (Bilil or rod rocket) and *Fuchsia arborescens* L. (moradillo). Also, know the chemical composition of such species through phytochemical analysis, knowing the type of soil and identify agroforestry systems in the area of study and quantify their forage potential

From the point of view bioclimatic study area it is characterized by the following indices: continentality (Ic) 2.2; termicidad (It) 3.9; ombrothermic (Io) 8.7; Annual positive temperature (Tp) 1.7 ° C; positive precipitation (Pp) 1458 mm and a mean annual temperature (Tm) of 14 ° C. It corresponds to a climax vegetation of pluvisesonal jungle.

The soil is slightly acidic, rich in phosphorus, potassium and organic matter, with a predominantly sandy texture. Regarding the nutritional value and pascícola taxa studied, the best results in crude protein content *berteroana* E. correspond to 30.7% ( $\pm$  2.1), *P. maculata* 29.9% ( $\pm$  0.4) and *B. caudata* 27.0% ( $\pm$  3.3); while higher contents of crude fiber corresponded to *E. berteroana* with 29.1% ( $\pm$  5.7) and *F. arborescens* with 19.8% ( $\pm$  1.1), on a dry matter values correspond to the best *B. caudata* and *V. apleura* with 17.6% ( $\pm$  4.2) and 16.3% ( $\pm$  3.0) respectively.

Note that the higher protein content is in the agroforestry system, with 91.72%, values obtained from the data reported by the laboratory of food science; predominant species in this system *berteroana* E., *B. caudata*, *V.* and *P. maculata* *apleura*; followed in order of importance with its plant components system strip cropping with 49.08

of protein, mainly composed by *E. berteroana*, *P. maculata* and *V. apleura*.



## RESUM

En el departament de San Marcos, Guatemala, en les últimes dècades un dels aspectes que més ha preocupat als productors agrícoles és la baixa producció que obtenen dels seus cultius i espècies pecuàries. Per l'anterior es va decidir dur a terme l'estudi "Tipificació ecològica i bromatològica d'espècies llenyoses farratgeres, a la micronca del riu Taronger"

Els objectius de la recerca es centren en establir les característiques bioclimàtiques i condicions ecològiques on es desenvolupen les espècies farratgeres *Erythrina berteroana* Urb. (Miche o xiulet), *Bohemeria caudata* Swartz (engreixa bestiar o sacla) *Verbesina apleura* SF Blake (copal), *Polymnia maculata* Cav. (bilil o vara de coet) i *Fuchsia arborescens* L. (Moradillo). Així mateix, conèixer la composició bromatològica d'aquestes espècies a través d'anàlisis fitoquímics, conèixer el tipus de sòl i identificar els sistemes agroforestals a l'àrea d'estudi i quantificar el seu potencial farratger

Des del punt de vista bioclimàtic l'àrea d'estudi es caracteritza pels següents índexs: continentalitat (Ic) 2,2; termicitat (It) 3,9; ombrotèrmic (Io) 8,7; temperatura positiva anual (Tp) 1,7 ° C precipitació positiva (Pp) 1.458mm i una temperatura mitjana anual (t) de 14 ° C. Li correspon una vegetació clímax pròpia de selva pluvial.

Les terres són de pH lleugerament àcid, riques en fòsfor, potassi i matèria orgànica, amb una textura predominantment sorrenca. Pel que fa al valor nutricional i pràctic dels tàxons estudiats, els millors resultats en contingut de proteïna crua corresponen a *I. berteroana* amb 30,7% ( $\pm 2,1$ ), *P. maculata* 29,9% ( $\pm 0,4$ ) i *B. caudata* 27,0% ( $\pm 3,3$ ) mentre que els continguts de fibra crua més elevats van correspondre a *E. berteroana* amb 29,1% ( $\pm 5,7$ ) i *F. arborescens* con 19,8% ( $\pm 1,1$ ), respecte a matèria seca els millors valors corresponen a *B. caudata* i *V. apleura* amb 17,6% ( $\pm 4,2$ ) i 16,3% ( $\pm 3,0$ ) respectivament.

Cal destacar que el major contingut de proteïna es troba en el sistema agrosilvopastoral, en el qual en fer la sumatòria de les espècies que el componen s'obté un 91,2%, valors obtinguts en funció de les dades reportats pel laboratori de bromatologia; predominant en

aquest sistema les espècies *E. berteroana*, *B. caudata*, *V. apleura* i *P. maculata*; el segueix en ordre d'importància amb els seus components vegetals el sistema de cultius en faixes amb 49,08 % de proteïna, compost principalment per *E. berteroana*, *P. maculata* i *V. apleura*.

## INDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	6
2.1 Uso de especies arbóreas y arbustivas en alimentación animal .....	7
2.2 Estudios sobre contenidos bromatológicos de especies arbustivas forrajeras en Centro América.....	9
2.3 Estudios sobre consumo, ganancia de peso y rendimiento de leche en caprinos, ovinos y bovinos.....	11
2.4 Estudios del efecto de las forrajeras leñosas sobre el suelo y pastos.....	12
2.5 Ensayos de consumo de especies leñosas forrajeras en Guatemala. ....	13
2.6 Características de los sistemas agroforestales identificados en la microcuenca del río Naranjo.....	16
2.6.1 Sistemas agroforestales mixtos con árboles y con cultivos agrícolas... 16	
2.6.2 Sistemas agrosilvopastoriles, mixtos con árboles, cultivos agrícolas y pastos.....	16
2.6.3 Sistemas silvopastoriles determinados con árboles y pastos.....	17
2.6.4 Árboles en rotaciones agrícolas (sistema taungya): .....	17
2.6.5 Árboles frutales intercalados con cultivos .....	17
2.6.6 Cultivos en fajas .....	18
2.7 Distribución geográfica y características de las especies bajo estudio .....	18
2.7.1 <i>Erithrhyia berteriana</i> Urb.....	18
2.7.2 <i>Boehmeria caudata</i> Swartz. ....	18
2.7.3 <i>Verbesina apleura</i> S.F. Blake .....	19
2.7.4 <i>Polymnia maculata</i> Cav.....	19
2.7.5 <i>Fuchsia arborescens</i> L.....	20
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
3.1 Localización áreas de estudio.....	22
3.2 Suelo.....	23
3.2.1 Análisis fisicoquímico del suelo .....	23
3.2.2 Análisis de datos .....	23
3.3 Datos microclimáticos.....	23

3.3.1	Proceso de datos.....	24
3.4	Bromatología.....	26
3.5	Análisis químico.....	26
3.5.1	Obtención de niveles de materia seca .....	26
3.5.2	Obtención de cenizas .....	27
3.5.3	Obtención de proteína cruda. ....	27
3.5.4	Obtención de proteína digestible.....	28
3.5.5	Obtención de fibra cruda .....	28
3.5.6	Obtención de fibra digestible.....	28
3.5.7	Determinación de extracto etéreo:.....	28
3.5.8	Extracto libre de nitrógeno .....	28
3.5.9	Proceso de datos obtenidos.....	29
3.5.10	Definición de las variables: tipos y formas de análisis .....	29
3.6	Caracterización de los sistemas agroforestales (SAF) .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	Tipificación ecológica.....	31
4.1.1	Datos climatológicos de San José Caben .....	31
4.1.2	Datos climatológicos de la estación de San Andrés Chapil.....	32
4.1.3	Datos climatológicos de la estación de Villa Hermosa .....	34
4.1.4	Datos climatológicos de la estación de La Grandeza.....	35
4.1.5	Caracterización bioclimática de acuerdo al análisis de veinte años reportados por el Instituto de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH) .....	37
4.1.6	Índices bioclimático en base a datos de las microestaciones colocadas en las cuatro localidades estudiadas .....	39
4.2	Tipificación bromatológica.....	41
4.2.1	Humedad.....	41
4.2.2	Materia seca total .....	41
4.2.3	Extracto etéreo .....	42
4.2.4	Fibra cruda .....	42
4.2.5	Proteína cruda.....	43
4.2.6	Cenizas .....	43

4.2.7	Extracto libre de nitrógeno .....	44
4.3	Edafología.....	46
4.3.1	Análisis de componentes principales .....	46
4.3.2	Regresión múltiple de la variable % de contenido de agua y meqCa y meqMg.....	52
4.3.3	Regresión lineal simple entre % de materia seca y meqMg.....	53
4.3.4	Regresión Múltiple para el caso de % de fibra cruda. ....	54
4.3.5	Regresión simple: % de extracto etéreo y % de temperatura media. ...	55
4.3.6	Regresión % de proteína cruda y las variables climáticas % de humedad y temperatura media.....	56
4.3.7	Variable % de cenizas. ....	57
4.3.8	Regresión múltiple de la variable % de extracto libre de nitrógeno y las variables independientes % de humedad y temperatura.....	58
4.3.9	Análisis de factores y variables originales. ....	58
4.3.10	Contenido de elementos del suelo y sitios de las especies. ....	64
5	<b>DISCUSIÓN</b> .....	65
6	<b>CONCLUSIONES</b> .....	73
7	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localidades de estudio, altitud, tipología de bosques, y coordenadas donde se realiza el estudio.....	22
Tabla 2. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas para la localidad de San José Caben.....	31
Tabla 3. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, San Andrés Chapil .....	33
Tabla 4. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, Villa Hermosa .....	34
Tabla 5. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, La Grandeza .....	35
Tabla 6. Coeficientes de variación de las variables de precipitación pluvial, temperatura media, mínima y máxima en las cuatro estaciones. ....	36
Tabla 7. Coeficientes de simetría para precipitación pluvial, temperaturas media, mínima y máxima en las cuatro estaciones.....	37
Tabla 8. Datos climáticos de la estación meteorológica, ubicada en la escuela de Formación Agrícola (EFA), San Marcos. (Periodo 1990– 2010).....	38
Tabla 9. Índices bioclimáticos de la estación meteorológica de la EFA, San Marcos.	39
Tabla 10. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de humedad de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ) .....	41
Tabla 11. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de materia seca total de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ).....	41
Tabla 12. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de extracto etéreo de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ).....	42
Tabla 13. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de fibra cruda de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ) .....	42
Tabla 14. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de proteína cruda de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades de estudiadas ( $P \leq 0.05$ ).....	43
Tabla 15. Valores medios ( $\pm$ e.s) para el contenido de cenizas de las cinco especies forrajeras en las cuatro comunidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ) .....	43
Tabla 16. Valores medios ( $\pm$ e.s) para extracto libre de nitrógeno en las cinco especies forrajeras en las cuatro comunidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ ) .....	44

Tabla 17. Número de elementos extraídos por el análisis de componentes Principales .....	47
Tabla 18. Pesos de los Componentes (suelo y clima; contenido nutricional de las especies) .....	48
Tabla 19. Sitios que corresponden a los componentes “suelo y clima” y “contenido nutricional de especies” .....	49
Tabla 20. Prueba de T de student con muestras independientes .....	51
Tabla 21. Variable dependiente: Agua y Variables independientes meqMg.....	52
Tabla 22. Análisis de varianza para los componentes principales descritos.....	52
Tabla 23. Regresión Simple mst vs. meqMg, variable dependiente: materia seca total y Variable independiente: meqMg.....	53
Tabla 24. Análisis de Varianza para materia seca total y MeqMg. ....	53
Tabla 25. Variable dependiente: fibra cruda y Variables independientes: meqMg, ppmP, %Mo.....	54
Tabla 26. Análisis de Varianza para las variables meqMg, ppmP y %Mo .....	54
Tabla 27. Regresiones simples para variable dependiente E.E y variable independiente: Tmedia .....	55
Tabla 28. Análisis de Varianza para las variables de E.E. y Tmedia .....	55
Tabla 29. Regresión simple para variable dependiente: PC y Variables independientes: Humedad ambiental, temperatura media .....	57
Tabla 30. Análisis de Varianza para las variables Humedad ambiental y temperatura media .....	57
Tabla 31. Regresión simple para variable dependiente: ELN y variables independientes: Humedad ambiental, Tmedia .....	58
Tabla 32. Análisis de Varianza para las variables Humedad ambiental, Tmedia .....	58
Tabla 33. Análisis de variabilidad de elementos químicos del suelo .....	59
Tabla 34. Matriz de correlaciones positivas y negativas entre componentes del suelo. ....	60
Tabla 35. Comunalidades de cada variable. ....	60
Tabla 36. Auto valores iniciales y porcentaje de varianza de cada factor .....	61
Tabla 37. Diferencias de componentes entre comunidades .....	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microcuenca donde se realizó el estudio .....	22
Figura 2. Equipo meteorológico utilizado en el estudio .....	24
Figura 3. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas Climagrama de la estación de San José Caben .....	32
Figura 4. Climagrama de la estación de San Andrés Chapil .....	33
Figura 5. Climagrama de la estación de Villa Hermosa .....	35
Figura 6. Climagrama de la estación de la Grandeza.....	36
Figura 7. Diagrama bioclimático de la microcuenca del río Naranjo (San Marcos) ....	39
Figura 8. Valores medios de los contenidos en nutrientes obtenidos para las cinco especies analizadas. ....	45
Figura 9. Sitios que corresponden a los dos componentes principales.....	50
Figura 10. Modelo ajustado de contenidos de extracto etéreo en las especies estudiadas. ....	56
Figura 11. Componentes de espacio rotado (permite develar la naturaleza de las interrelaciones entre las variables originales).....	62
Figura 12. Sobre posición de las comunidades en los espacios rotados .....	63
Figura 13. El suelo en las comunidades y especies de plantas. ....	64



## **1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

---

En Guatemala y en Latinoamérica en general, es muy importante considerar el manejo de los recursos naturales desde el punto de vista ecológico para garantizar los actuales patrones socioeconómicos y culturales de desarrollo, asegurando que estos recursos estén disponibles para las futuras generaciones (Veluk, 2010).

El grado de desarrollo económico y social actual ha conducido a que, a nivel mundial, se pierdan aproximadamente nueve millones de hectáreas de bosque cada año; dicha pérdida se observa con mayor intensidad en regiones tropicales de América Latina y África (Ibrahim, 1998). En este sentido, es necesario implementar proyectos de conservación de estos recursos, con énfasis en los bosques naturales y proponer estrategias de producción sustentables para las sociedades que habitan en las áreas tropicales de estos dos continentes.

Dentro de las principales causas que originan la pérdida de los bosques, se menciona entre otras, las prácticas tradicionales de pastoreo y ramoneo que utilizan los ganaderos como suplemento alimenticio para sus animales domésticos. Lo anterior dificulta la regeneración natural de la vegetación (en formaciones boscosas tropicales secas pluviestacionales).

En África y Asia se llevan a cabo actividades de pastoreo similar a las mencionadas con anterioridad, principalmente en la estación seca en zonas de los trópicos subhúmedos y semiáridos (Solorio & Solorio, 2002)

No obstante, se debe considerar que en la mayor parte de países tropicales la explotación ganadera es una de las principales formas de uso de la tierra, con características de producción diversas y basadas en pastizales naturales o introducidos. De esa cuenta es imprescindible que se incorpore el aprovechamiento de leñosas forrajeras por medio de los sistemas agrosilvopastoriles por las ventajas que estos sistemas presentan de brindar alimento con altos contenidos de proteína y fibra, protección a los animales del calor o del frío a lo largo del día y de las estaciones secas y lluviosas principalmente (Pezo & Ibrahim, 1996). Por otro lado permite contar con buena disponibilidad de forraje en cualquier época del año, producción de madera y leña, mejoras en los pastos, reciclaje de nutrientes, entre otros.

En muchos países del continente asiático, los planes de desarrollo económico, con el propósito de contribuir a la conservación y preservación de los recursos naturales, han implementado programas de reforestación masiva, demostrando que con la voluntad política y participación de los técnicos especialistas en este ramo, sí es posible un manejo sostenible de los recursos naturales (Ibrahim, 1998)

Para ello es necesario llevar a cabo estudios con especies leñosas que contengan, como forrajeras, niveles aceptable de nutrientes, que sean de fácil propagación, de rápida regeneración y que sean de buena aceptación por los herbívoros que las consumen (Benavides & Ruiz, 1993).

Sin embargo, a pesar de las ventajas descritas, el conocimiento y el uso de los sistemas agroforestales en algunos países de América Latina ha sido muy escaso, a pesar que existen evidencias que muestran la riqueza de la biodiversidad y su importancia cultural y económica entre las comunidades campesinas (Soto Pinto, 1997).

Revisando los sistemas alimenticios utilizados en climas cálidos se observa que la sostenibilidad del sistema depende, en parte, de hacer un uso racional de los diferentes recursos biológicos locales (Roggero & Rosales, 1996).

Las explotaciones de ganado bovino y de especies menores (ovejas y cabras) en Guatemala, se llevan a cabo con el uso incipiente de una combinación de tecnologías tradicionales y modernas, que se han sistematizado con el fin de ofrecer una alternativa viable, básicamente mediante el aprovechamiento de los recursos naturales. Sin embargo, es necesario llevar a cabo una sistematización de estos conocimientos aunados a nuevas tecnologías y a la disponibilidad de sistemas de información, lo que facilita en la actualidad el diseño inteligente de los sistemas de producción (Hernandez, 2000).

A pesar de lo anterior, se observa que el desarrollo tecnológico actual posee grandes vacíos, principalmente relacionados a la conservación de la fertilidad del suelo y de las fuentes de agua. Por lo anterior, se debe procurar que la producción de pastos y forrajes este basada en una estrategia de manejo sostenible, preferentemente de los recursos propios del área explotada sin hacer uso de aquellas

áreas de aptitud eminentemente forestal, que es lo que suele ocurrir muy a menudo en la parte occidental de Guatemala, en donde la mayoría de los productores alimenta a sus ovejas y cabras a libre pastoreo, trayendo consigo deterioro del suelo y consecuentemente retraso en la recuperación de las praderas.

Dentro de la masa boscosa existe variedad de especies de las cuales se han utilizado algunas en alimentación animal con buenos resultados en cuanto a rendimiento de carne y leche. No obstante, existe la posibilidad de determinar e identificar nuevas especies que se pueden utilizar como fuente de forraje en el área del altiplano marcuense, en el cual existen cinco cuencas hidrográficas que en su mayoría son objeto de una sobre explotación para uso agrícola y pastoreo y esto, da lugar a suelos descubiertos susceptibles a erosionarse, cambios en el microclima y disminución de la biodiversidad (Martínez, 2012). Por otro lado, la microcuenca presenta una cubierta vegetal propia del clima tropical de montaña compuesta de bosques planifolios y aciculifolios.

Aparte de lo anterior cabe mencionar que las condiciones climatológicas de la microcuenca se caracterizan por presentar grandes aguaceros en los meses de mayo a septiembre y fuertes heladas en los meses de noviembre a febrero. El contraste de estos cambios tan drásticos provocan por un lado, el lavado del suelo que es arrastrado por los ríos aguas abajo y por el otro, las heladas combinadas con períodos de sequías producen una disminución del área foliar de las plantas. La condición anterior genera escasez de alimento para los animales, sin embargo, esta escasez se subsana convenientemente con el corte y acarreo de hojas y tallos tiernos de árboles y arbustos forrajeros que en alguna medida presentan resistencia a estas variaciones tan marcadas en el clima.

Sin embargo, es sorprendente observar en los habitantes de la microcuenca la existencia de tecnologías sostenibles de manejo en los recursos naturales, que demuestran la presencia de una conciencia y una práctica ecológica característica de las comunidades indígenas. Lo anterior es fruto de la racionalidad campesina, pues, en ellos se conjugan elementos culturales como la cosmovisión, la práctica de la espiritualidad y el manejo tradicional de los recursos naturales, con los elementos básicos del derecho consuetudinario en donde las au-

toridades comunitarias establecen las normas de uso y acceso, así como los procedimientos de uso y aprovechamiento (Secaira, 2000)

Dadas las circunstancias se decidió estudiar algunas de las especies de leñosas que tienen potencial forrajero y contribuir con propuestas tecnológicas para la alimentación de los ovinos, caprinos y bovinos del área.

Dentro de las propuestas de OT se incluye el uso de árboles y arbustos forrajeros bajo cualquiera de las modalidades agroforestales que hasta la fecha se han estudiado e implementado.

En el presente trabajo se plantea el estudio y caracterización de especies con potencial bromatológico para contribuir a la mejora de la alimentación pecuaria en el área de la microcuenca, apoyándose en los objetivos específicos siguientes:

#### OBJETIVOS

1. Evaluar el comportamiento ecológico de *Erythrina berteroana* Urb., *Boehemeria caudata* S.W., *Verbesina apleura* S.F., *Polymnia maculata* Cav. y *Fuchsia arborescens* Sims, especies leñosas forrajeras propias del área de estudio
2. Determinar la composición y riqueza de los metabolitos primarios de las especies con potencial forrajero seleccionadas y su relación con los factores ecológicos.
3. Conocer las características fisicoquímicas del suelo donde se desarrollan las leñosas forrajeras
4. Proponer alternativas tecnológicas que permitan el uso adecuado de estas, en las diferentes modalidades agroforestales y con ello mejorar la calidad bromatológica de los recursos silvopastoriles del área.

## **2 ANTECEDENTES**

---

## 2.1 Uso de especies arbóreas y arbustivas en alimentación animal

Se han realizado estudios en especies arbóreas utilizadas como fuente de alimento, en régimen de libre pastoreo, desde distintas perspectivas. El jackfruit asiático (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), árbol utilizado por sus frutos como alimento humano, ha sido objeto de análisis de su biología reproductiva y diversidad genética para su uso en alimentación animal (Place, 2002). Una especie leguminosa objeto de pastoreo, característica de la sabana africana, como *Faidherbia albida* (Delile.) A. Chev., ha sido también objeto de investigaciones relacionadas con su diversidad genética, a fin de seleccionar individuos con mayor producción y calidad de semillas y establecer programas de mejoramiento de la especie (Vergara, 1987)

Por otro lado se han evaluado algunos sistemas de producción en Nigeria, los cuales tienen mucha similitud con los que actualmente se llevan a cabo en el altiplano guatemalteco, en donde la tendencia ha sido la misma. Es decir, inicia con la sedentarización de los sistemas pastoriles mediante el establecimiento de reservas para pastoreo, módulos de producción caprina y ovina, así como granjas productoras de leche y lotes de engorda de bovinos, con enfoque agroforestal (Von Kaufmann, 1986).

En Botswana, al sur de África, el 25% de la dieta anual del ganado se obtenía por ramoneos en árboles y arbustos. También se observó que durante los meses de mayor sequía del año, el consumo de leñosas forrajeras se eleva a un 45%; y representa fundamentalmente toda la proteína requerida por los animales (Baumer, 1992)

Estudios sobre la biología, reproducción, diversidad genética y fenología han sido llevados a cabo para distintas especies de interés silvopastoril como *Calliandra calothyrsus* Meissner; *Artocarpus heterophyllus* Lam., en Asia; *Faidherbia albida* (Delile) en Africa. (Galai, 1995).

El género *Acacia*, de trascendental importancia en el pastoreo de las áreas secas de África (sabana, sahel), ha sido objeto de investigación de su diversidad genética y su relación con la productividad en algunas especies como *Acacia erioloba* E. Mey, *A. karroo* Hayne, A.

*nilotica* L., *A. senegal* Willd., *A. tortilis* Hayney, *Faidherbia albida* Delile., (Abadi, A., Lefroy, T., Cooper, D., 2003).

En España se ha descrito un sistema caprino en el que se ha utilizado *Ceratonia siliqua* L. (algarrobo), considerado como un buen alimento para ganado; el fruto es de mayor calidad cuando es de árbol silvestre. Así mismo, se ha evaluado el uso de *Chamaespartium tridentatum* (L) P. Gibbs, (engordatoro), arbusto poco elevado sin muchas ramas y *Fraxinus angustifolia* Vahl, (fresno) utilizando las hojas para alimento de ganado bovino (Caballero, 1993). Por otro lado se ha utilizado *Morus nigra* L. en ramoneo y *Quercus rotundifolia* Lam., el cual se caracteriza por ser de hoja redondeada y bellota dulce, lo que la hace apetecible para el ganado porcino (pero no en ramoneo); *Retama sphaerocarpa* L. (retama común), arbusto típico propio de clima mediterráneo, presente en fases de matorral y pastizal y ligado también al pastoreo. De él se dice: "Debajo de una retama se cría un cordero" (Caballero, 1993).

En algunas zonas mexicanas se recurre al uso de especies nativas como *Atriplex canescens* (Pursh). Nutt. (Merrick 1987), *Dalea bicolor* Willd. (ramoncillo), *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg, (vara dulce), *Parthenium incanum* Kunth, *Acacia berlandieri* Benth. Y *Buddleja scordioides* Kuntt. (Merrick., 1987).

En la provincia Quilcollo, específicamente en la localidad del valle de Cochabamba, a una altitud entre los 3200 y los 4600 m.s.n.m, las hojas de *Polylepis* sp. Ruiz & Pav., (kewiña) son empleadas recientemente como forraje (Smith y Scherr 2002).

La explotación caprina en el trópico seco de Venezuela, es similar a la que se lleva a cabo en San Marcos, con base a pastoreo alternado y ramoneo sobre especies arbustivas, arbóreas y herbáceas anuales, de diferente valor nutricional. En este sistema se observó baja producción de los rebaños caprinos con periodos de lactancias menores a tres meses, producciones de leche inferiores a 250 g/cabra/día, ganancias de peso menores de 25 g/ejemplar/día y partos sencillos.

En el caso de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt. ex Walp, se ha investigado la variación genética y su relación con la calidad mediante ensayos de alimentación en ovejas y cabras, tomando como factores de



ensayo las distintas procedencias y estableciéndose bloques de forraje provenientes de cinco localidades. El ensayo se ha llevado a cabo mediante la colaboración de instituciones de investigación en ganadería de Colombia, Costa Rica, Indonesia, Nigeria y Sri Lanka (Pattanayak, S.K., Mercer, D. F. Sills, E., 2002).

Recientemente en Honduras (Rosales, 1996) se han realizado otros estudios con seis leguminosas leñosas neotropicales de los géneros *Albizia*, *Hesperalbizia*, *Pseudosamanea* y *Samanea*. En estos estudios, se emplearon técnicas analíticas, digestibilidad *in vitro* y ensayos de aceptabilidad por ovejas

Por otro lado se ha investigado en Guatemala un número relativamente reducido de especies pertenecientes a los géneros *Leucaena*, *Gliricidia*, *Erythrina*, *Sesbania* y *Acacia* y recientemente la investigación se ha extendido a otros géneros tales como *Trichantera*, *Crotalaria*, *Tithonia* e *Hibiscus*, dejando a un lado especies de los géneros como *Boehmeria*, *Verbesina*, *Polimnia*, entre otras (Boza, 1990).

Si se comparan las investigaciones que se han realizado tanto en África, Asia, Europa y América Latina, existe muchas similitud con los sistemas agrosilvopastoriles de Guatemala (Musálem, 2001).

## **2.2 Estudios sobre contenidos bromatológicos de especies arbustivas forrajeras en Centro América.**

Los estudios previos de plantas perennes forrajeras (árboles y arbustos) en el área se han centrado en dos aspectos. Por una parte el análisis de la riqueza en proteína e hidratos de carbono como factores primordiales en la alimentación animal y por otra, en la utilización como cultivo y elemento agroforestal que permita su integración como componentes del bosque secundario y su contribución a fijación de CO<sub>2</sub> y recarga hídrica de acuíferos (Ruiz, R., Boira, H., 2012).

Estudios en leñosas forrajeras han permitido evaluar su potencial forrajero en base a los altos niveles de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de proteína cruda (PC) en áreas tropicales húmedas de la costa atlántica de Costa Rica, Petén en Guatemala, República Dominicana y Honduras (Benavides, 1994). En estos estu-

dios se encontró que las especies más requeridas por su contenido en PC y DIVMS son: *Cordia dentata* Poir, *Mimosa platycarpa* Benth, *Caesalpinia coriara* (Jacq.) Wild., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *caesalpinia eriostachys* L. y *Guazuma ulmifolia* Lam (Medina, Rouyer, & Boiron, 1991)

Las especies estudiadas han mostrado contenidos en PC superiores a los pastos tropicales y concentrados comerciales, destacando las especies *Cnidocolus acotinifolius* (Mill) I.M. Jhonst, (chicasquil ancho) y *C. chayamansa* Mcvaugh (chicasquil fino), cuyo follaje también es utilizado para consumo humano (Araya, Benavides, Arias, & Ruiz, 1991). También sobresalen *Morus* sp. y *Ficus* sp. (amate) con niveles de PC superiores al 20% y de DIVMS por encima del 70%.

En Petén, Guatemala, además de las especies mencionadas se han estudiado las especies de *Malvaviscus arboreus* Cav, (amapola) e *Hibiscus rosa-sinensis* L. (clavelón) y tres especies de la familia Asteraceae: *Senecio*, (Chilca), *Verbesina turbacensis* Kunth, (Tora blanca) y *V. myriocephala* Sch. Bip, (tora morada) (Araya, Benavides, Arias, & Ruiz, 1991).

En el follaje de *Erythrina poeppigiana* (Walp) O.F.Cook, en el trópico húmedo de Costa Rica, se han observado fuertes variaciones en los niveles de PC y DIVMS de todas las fracciones de la biomasa, ocurriendo lo mismo con los géneros *Malvaviscos* y *Morus* (Esquivel & et al., 1996).

Al analizar la composición química de las especies de leguminosas adaptadas a un ambiente húmedo, como *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit, *Erythrina poeppigiana* L., *Erythrina berteroana* Urb., presentan contenidos de proteína de 18,6, 23,6 y 24,3% respectivamente, con una digestibilidad in vitro para *E. poeppigiana* de 51,3 y de 55,0 para *E. berteroana*. En cuanto a fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FAD), *E. berteroana* posee los mejores índices. También se reportaron los contenidos de proteína, FAD y FDN de *Brossimum alicastrum* Sw y *Morus alba* L. observándose que *Morus alba* contiene valores más altos de proteína y los otros componentes son mayores en *B. alicastrum* Sw. Por otro lado, se estudiaron las plantas *Hibiscus rosa-sinensis* L., *Malvaviscus arboreus* Cav.

(Jegou, Jacques, & Brunshwing, 1993) en las que se encontraron niveles de proteína entre 21 y 24% respectivamente. En las especies de *Sambucus canadensis* L. *Sambucus mexicana* C.Presl, *Bacharis salicifolia* (Ruiz & Pav) Pers. *Bohemeria sp* Jacq., *Verbesina apleura* S.F. Blake y *Buddleja megalocephala* Donn.Sm., los contenidos de proteína y FDN son muy parecidos, con niveles de 24,8 a 25,8 de proteína y de 50,3 a 73,7 de FDN, (Hernandez S. G., 2000)

### **2.3 Estudios sobre consumo, ganancia de peso y rendimiento de leche en caprinos, ovinos y bovinos.**

En relación a la respuesta animal en Turrialba, Costa Rica, se realizaron estudios con *Erythrina sp* donde se observó consumos superiores al 3.0% del peso vivo en cabras lactantes, asimismo con el follaje de *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Cordia dentata* Poir, (tigüilote) se han obtenido niveles satisfactorios de ingestión con cabritos. En Guatemala se han reportado altos consumos del follaje de estas plantas como suplemento a animales en pastoreo. No obstante, los mayores consumos observados han sido en follaje de *Morera sp.*, con el cual se han alcanzado niveles superiores al 3,5% del peso vivo.

En otro estudio, se evaluó el uso del follaje de *Morus alba* e *Hibiscus rosa-sinensis*, en donde se obtuvieron rendimientos proporcionalmente al incremento de la cantidad de follaje en la ración; alcanzándose producciones superiores a 2,2 y 2,6 kilogramos por animal y día respectivamente (Jegou, Jacques, & Brunshwing, 1993)

Con toretes criollos Romosinuanos, que recibieron una dieta basal de *Pennisetum purpureum* Schumach, se observó incrementos de peso de 40, 690, 940 y 950 g/animal/día al suplementar con morera en niveles equivalentes al 0; 0,90; 1,71 y 2,11% del PV (Gonzalez, 1996).

En las partes de las plantas que prefieren los animales se determinó que existen algunas sustancias anti nutricionales (Araya, Benavides, Arias, & Ruiz, 1991), lo que dificulta el consumo, como sucede con *Gliricydia sepium* en la cual se han detectado limitaciones de consumo cuando el material es joven y con mayor digestibilidad, lo que está relacionado con la procedencia ecológica de la planta

(Benavides, 1994). En este sentido se concluye que existe una importante relación con la localidad, edad de la planta y nivel de consumo.

## **2.4 Estudios del efecto de las forrajeras leñosas sobre el suelo y pastos**

El problema de la fertilidad de suelos se encuentra estrechamente relacionado con un balance de nutrimentos y es uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los sistemas de producción agropecuarios (Craswell, Henao, & and Viek, 2004).

Las especies arbustivas de las familias leguminosas y betuláceas juegan un papel principal en la fertilidad de los suelos ya que incorporan N atmosférico y reciclan cantidades significativas de nutrientes por medio de producción e incorporación de hojarasca. En este sentido, los estudios han reportado que por lo general, las plantas arbustivas de dichas familias cuando crecen en la modalidad agroforestal de cultivos en callejones, producen aproximadamente 20 t por ha de materia seca (MS) al año, con un aporte aproximado de 358 kg de N, 28 kg de P, 232 kg de K y 144 kg de Ca (Palm, 1995); *Leucaena leucocephala* puede fijar aproximadamente el 70% del N que necesita (Van Kessel, 1994).

Datos experimentales indican que la mezcla del follaje de especies de diferente calidad, con una relación C/N baja, puede favorecer la descomposición del follaje de otra especie de baja calidad, lo cual fomenta significativamente el reciclaje de nutrientes en sistemas de cultivos asociados (Forrester & Bauhus, 2005). Adicionalmente, especies arbustivas de rápido crecimiento producen considerables cantidades de biomasa de excelente calidad para alimentar animales (rumiantes y monogástricos), principalmente como suplemento de pasturas en la época de escasez, los cuales aportan al suelo considerables cantidades de nutrientes a través de las propias deyecciones (Gutteridge, 1994)

Las especies con las mejores características forrajeras son grandes extractoras de nutrientes; pero con la incorporación de estiércol de cabra o de ovejas al suelo como abono, se logra restituir en parte los nutrientes extraídos por las plantas y se han reportado altos y soste-

nidos rendimientos de biomasa que, en algunos casos, se incrementan a medida que transcurren los años (Araya, Benavides, Arias, & Ruiz, 1991).

## 2.5 Ensayos de consumo de especies leñosas forrajeras en Guatemala.

Actualmente existen en Guatemala estudios sobre el contenido nutricional de numerosas especies forrajeras. Dentro de las especies determinadas y evaluadas en su contenido nutricional están las siguientes: *Persea americana* Mill (aguacate), *Alnus acuminata* Kunt (aliso), *Polimnia sp* Cav.(bilil o vara de cohete), *Chiranthodendron pentadactylon* Larreat (Canaque), *Phragmites australis* Cav.Trin ex Steud. (carrizo), *Berbesina apleura* S.F. Blake (copal), (*Chusquea pittierei* Kell, (caña brava), *Urea bassifera* (L) Gaudich, (chichicaste), *Cassia* L., (chilicap), *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers (chilca), *Quercus ilex* L. (encino), *Saurauia oreophila* Hemsley (escabitzé), *Bohemeria caudata* Jacq (saclá), *Diphysa robinoides* Benth (guachipilin), *Laurus nobilis* L., (laurel), *Casimiroa edulis* La Llave & Lex. (mata-sano), *Hernandia ovigera* L. (mano de león), *Erythrina berteroana* (miche), *Tthonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (mirasol), *Fuchsia arborescens* Sims. (moradillo), *Quercus robur* L. (roble), *Urtica urens* L. (ortiga) *Arthrotilidium sp.* (pajatz), *Polimnia maculata* Sims. (vara de cohete), *Musa paradisisca* L. (platanos), *Bidens pilosa* L. (sajam negro), *Fuchsia tacanensis* Lundell, (sacatinta), *Senecio sp.* (sibiche blanco), *Buddleija sp* L. (salvia), *Dahlia imperialis* Roezi, (tzolog), *Sambucus canadensis* L., (sauco amarillo), *Sambucus mexicanus* C presl., (sauco negro) y *Salix chilensis* Wild, (sauce).

En Chiquimula, región oriental del país se han caracterizado 27 especies empleadas en alimentación animal (Flores, 1993). Dentro de las más importantes por su contenido bromatológico se mencionan las especies siguientes: *Erythrina berteroana*, *Gliricidia sepium*, *Gliricidia ulmifolia* y *Spondias sp.* En Peten han encontrado *Brossimiun alicastrum* Swartz, *Cecropia peltata* L. *Hamelia patens* Hat, *Spontias mombin* L. *Trophis racemosas* I. Urb, *Aegiphila montrosa* Moldenke, *Lonchocarpus guatemalensis* Bent, *Hibiscus rosa-sinensis* L. *Erythrina sp*, *Zexmenia hispida* La llave, *Chamaedorea elegans* Habin, *Piscidia pascipula* L. y *Heliocarpus donnellsimithii* Rose, (Hernandez K. , 1997).

En el caso de *Gliricidia sepium*, se observó que cuando se poda, en época lluviosa, se impide la floración y esto favorece el rebrote y permite un forraje de mayor calidad (Flores, 1993). Asimismo, al evaluar la producción de biomasa en *Cordia dentata*, en podas con intervalos de cuatro y cinco meses se obtuvieron 1,5 kg de materia seca por árbol y poda; 0,98 kg en *Erythrina berteroana* y 0,85 kg en *G. ulmifolia* (Mejicanos & Ziller, 1990)

En la región de las Verapaces parte norte de Guatemala, se encuentran las especies forrajeras *Pithecelodum dulce* (Roxb) Benth., *Crescentia alata* kunth, *Acacia senegal* Wild y *Cordia dentata* Jacq, muy utilizadas en alimentación animal (Pineda, 1993)

En el municipio de Ixcán, Quiché, se encontraron 96 especies diferentes y las más estudiadas para la época de menor precipitación fueron, *Eupatorium* L. *Phyllostylon rhamnoides* (J. Poiss) Tahub, *Perymenium grande* Schrad, *Vernonia mollis* Sword, *Heliocarpus donnellsmithii* Rose y para la época de máxima precipitación, *Trema micrantha* (Roem. & Schult) Blume y *Acalipha hispida* L. En el municipio de Fray Bartolomé de las Casas se encontraron 93 especies; de estas, las de mayor distribución son: *Eupatorium* L., *Sida fallax* L., *Psychotria elata* L *Triumfetta* L., *Trema micrantha*, *Perymenium* sp, *Cornutia* sp, *Trichospermum* sp, *Costus sanguineus*, *Neurolaena lobata* (L) R. Brown, *Spondias* sp, *Cecropia peltata* (Aguirre, Gutierrez, Corado, De Leon, & Sinay, 1982)

En el Petén se hizo un estudio similar al anterior y se encontraron 105 especies de las cuales hay 14 géneros diferentes a los encontrados en Ixcán *Spondias*, *Annona*, *Cordia*, *Bursera*, *Cassia*, *Calophyllum*, *Eugenia*, *Lonchocarpus*, *Piscidia*, *Piper* y *Desmancus* (Aguirre, 1982)

En el Petén los rangos de producción de proteína y de materia seca no presentaron variaciones muy significativas respecto a los de Ixcán y Fray Bartolomé de las Casas. Sin embargo, en el Occidente de Guatemala se han encontrado especies con niveles más altos, tal es el caso de *Microsechium helleri* (Peyr.) Cogn., *Melilotus indicus* (L) All. que van de 9,0% hasta 30,0% (Mendizabal, G., 1996), en *Gliricidia sepium* rendimientos de proteína de 30% y en *Caesalpinia eriostechis* Lam 45% (Aguilar, 1994). De lo anterior se deduce que las especies

arbóreas forrajeras poseen mayor valor nutritivo que las gramíneas usadas frecuentemente en áreas tropicales (Beer, 1980).

Un estudio realizado de digestibilidad in vitro con *Psycotria sp*, *Aegiphila montrosa* Moldenke y *Cecropia peltata* se obtuvo 81,5%; 25,3%; 69,0%; 25,2%; 65,0% y 23,7% de materia seca y proteína cruda, respectivamente.

Los primeros estudios dirigidos por personal de instituciones de investigación en la región occidental del país, se orientaron en caracterizar y determinar bromatológicamente especies nativas (Mendez Barrios, 1984), en donde se evaluó su potencial bromatológico.

Como resultado de las anteriores investigaciones (Arias, 1987) se seleccionaron por su valor bromatológico, aceptación por los animales, facilidad de adaptación y reproducción, las especies de *Sambucus mexicanus* C.presl., *Sambucus canadensis* L., así como varias especies de los géneros *Erythrina* y *Bohemeria*, con el propósito de estudiar formas de aprovechamiento y efectos en la fisiología de corderos y cabritos en estabulación (Mendizabal, G., 1996).

Respecto a evaluaciones agronómicas se han estudiado métodos de propagación de especies forrajeras arbustivas (*E. berteriana* y *B. caudata*) en donde se determinó que el uso de estacas es la técnica de propagación más adecuada y que permite periodos de establecimientos más cortos, fácil ejecución y sobre todo muy conocida y adoptada por los agricultores. En algunas especies es posible plantar las estacas totalmente enterradas en forma horizontal, con lo que se obtienen varias plantas por estaca y se ahorra material de propagación (Benavides & Ruiz 1993); así mismo, al evaluar pasturas que crecen bajo los árboles forrajeros, se encontraron valores de nitrógeno y materia seca con una relación de N metabólico y N asimilado más altos (Cruz, 1997)

Experiencias de trabajos realizados en Vista Hermosa; Esquipulas Palo Gordo, San Marcos, han llegado a demostrar que al proporcionar una mezcla de varios follajes arbóreos como dieta única o como suplemento a una dieta basal de rastrojos de cosechas de maíz y avena, se triplicó la producción de leche en cabras y se mejoró la tasa reproductiva de las mismas (Ruiz R. , 1993).

Los niveles de consumo voluntario de algunas leñosas forrajeras de bosques del altiplano guatemalteco con base a su valor nutritivo pueden satisfacer hasta un 75% los requerimientos de energía digestible de mantenimiento y 100% los requerimientos de proteína para mantenimiento y reproducción de ovejas de pelo completamente estabuladas (Marroquin, 1989).

## **2.6 Características de los sistemas agroforestales identificados en la microcuenca del río Naranjo**

### **2.6.1 Sistemas agroforestales mixtos con árboles y con cultivos agrícolas.**

Estos sistemas están compuestos por árboles productores de leña, como *Quercus ilex* L, *Alnus acuminata*, Kunt, *Pinus rudis* P. D. Smithii, y *Cupresus lusitánica* Mill, árboles productores de forraje y de postes para construcciones rústicas, como *Erythrina berteroana*, Urb., *Verbesina apleura* S.F Blake, *Bohemeria caudata*, Sw., *Morus alba* L. y árboles fijadores de nitrógeno como *Alnus acuminata*, Kunt, *Erythrina berteroana*, Urb.; además, también integran este sistema cultivos como *Solanum tuberosum*, L., *Zea mays*, L., *Phaseolus vulgaris*, L. y cualquier otro tipo de hortalizas de hoja, flor o raíz (Ruiz R. , 1993).

### **2.6.2 Sistemas agrosilvopastoriles, mixtos con árboles, cultivos agrícolas y pastos.**

En este sistema se observa una interacción importante entre especies productoras de leña, que se intercalan con especies de pastos permanentes como *Pennisetum clandestinum* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb, *Lolium multiflorum* L. asociadas a especies de leguminosas introducidas de tréboles: *Trifolium repens* L., *Trifolium subterraneum* L., *Trifolium pratense* L. y *Melilotus albus* Medik que brindan a la dieta una mayor riqueza nutricional. Pero también se aprovecha buena parte del suelo para la producción de cultivos de gramíneas y hortalizas (Ruiz, R., Benavides, J., 1996).



### 2.6.3 Sistemas silvopastoriles determinados con árboles y pastos

Este sistema predomina sobre todo en algunos microclimas del área de estudio, con explotaciones ganaderas extensivas y semi-intensivas y se caracteriza porque cuenta con potreros de pastos y árboles, generalmente maderables y productores de leña como *Quercus ilex* L, *Alnus acuminata* Kunt, *Pinus rudis* Endl, (pino) y *Cupressus lusitánica* Mill, leñosas forrajeras como *Erythrina berteroana* Urb. y gramíneas de la especie *Pennisetum clandestinum* L. (Ruiz R. , 1993).

### 2.6.4 Árboles en rotaciones agrícolas (sistema taungya):

El sistema Taungya permite una mayor y mejor utilización del espacio, reducción de costos en el manejo del cultivo y la limpieza inicial, cuando se compara con plantaciones establecidas sin agricultura, (Bodowski, 1979).

En el altiplano de Guatemala existen muchos ejemplos de sistemas de árboles con rotaciones agrícolas, especialmente en la parte alta de San Marcos, Huehuetenango, Quetzaltenango y Totonicapán. En estos Departamentos, se trabaja con las siguientes especies arbóreas: *Cupressus lusitánica* Mill, *Pinus caribáea* L., *Alnus acuminata* Kunt, *Eucalyptus globus* K., entre otras.

### 2.6.5 Árboles frutales intercalados con cultivos

Las diferentes especies arbóreas utilizadas producen madera, leña frutas y forraje de calidad. Entre los árboles frutales de uso más frecuente se encuentran los siguientes: *Malus domestica* Borkh, *Persea americana* Mill, *Prunus avium* L., *Casimiroa edulis* Llave & Lex., *Prunus pérsica* (L) Batsch y cultivos como *Zea mays* L. *Phaseolus vulgaris* L., *Cucurbita pepo* L., *Vicia faba* L. y *Pisum sativum* L.

### **2.6.6 Cultivos en fajas**

En esta modalidad agroforestal se están utilizando las especies *Dactylis glomerata* L. (dáctilo), *Festuca arundinacea* L., *Setaria Sphacelata* (Schumach) Stapf & C.E.Hubb, *Pennisetum purpureum* L. y como árboles o arbustos forrajeros *sambucus canadensis* L., *Verbesina apleura*, *Polimnia maculata* Sims, *Morus alba* L. y *Boehmeria caudata* Sw.

## **2.7 Distribución geográfica y características de las especies bajo estudio**

### **2.7.1 *Erithrhyta berteroa* Urb.**

Esta leguminosa tiene una amplia distribución en todos los países tropicales del mundo y es uno de los géneros más estudiados en alimentación animal, esta especie posee alrededor de 950 géneros y unas 20.000 especies e incluye plantas cultivadas y numerosos árboles.

*Erithrhyta berteroa* Urb. se conoce con los nombres vulgares de pito; miche; machetillos, coralillo; tzinte (Cobán, Quecchi); hutacan (Baja Verapaz), sitio (Chimaltenango), tzité (Totonicapán), Patzité (en el Quiché); se localiza en bosques o matorrales desde húmedos hasta secos, en alturas comprendidas entre los 1000 a 2000 metros sobre el nivel del mar, distribuida en todo el país y suele encontrarse en setos y cercas vivas donde a menudo se siembra para delimitación de linderos y protección de suelos. Lo anterior debido a que sus troncos son sólidos y de larga vida. Sin embargo su mayor uso es para alimentación animal y abono verde.

### **2.7.2 *Boehmeria caudata* Swartz.**

Esta planta se localiza desde el Sur de México hasta Honduras, Costa Rica, Antillas y Suramérica (Standley, Paul C. 1958). Generalmente formando un tercer estrato con arbustos de 2 a 3 me-

tros de altura. También se encuentra en Guatemala una amplia distribución de esta especie en la parte occidental del país.

Es un arbusto o árbol pequeño que alcanza hasta 9 metros de altura; cuando la planta es joven posee una ramificación densa con tallos suculentos.

Planta altamente polimórfica, conocida popularmente en Brasil como pescado ortiga o gentil. Esta planta se encuentra en el área de estudio en los bosques húmedos, en alturas comprendidas entre los 2200 a 2600 msnm y se la conoce con los nombres vulgares de sacla o engorda ganado. Distribuida en terrenos de los productores, la cual es muy utilizada para alimentación animal

### **2.7.3 *Verbesina apleura* S.F. Blake**

Esta planta se distribuye desde el sur de México hasta Honduras. En Guatemala se localiza en el bosque *Cupressus-Pinus* en el estrato de arbustos, acompañada de *Acaena elongata* L., *Baccharis vaccinoides* Kunth, *Buddleja megalcephala* Donn.Sm., *Dahlia imperialis* Roehl ex Ortgies, *Lupinus ehrenbergii* Schltld., *Rumex acetosella* L. y *Rubus trilobus* Moc. & Sessé ex Ser., entre otras (Martínez, 2012)

Esta especie es propia de bosques húmedos y se encuentra a altitudes de 1400-3600 msnm., abundando en todo el país y se le conoce con los nombres vulgares de copal, chicle o capalillo.

Son arbustos o árboles pequeños de unos 6 m de altura siendo muy utilizadas en alimentación de pequeños rumiantes y en sistemas silvopastoriles.

### **2.7.4 *Polymnia maculata* Cav.**

Esta especie es común encontrarla desde el sur de México hasta Honduras, El Salvador y Panamá (Standley, 1958). En Guatemala se localiza en la parte noroccidental en altitudes desde los 2000 hasta los 3000 msnm y se le conoce con los nombres vulgares de Ax en la

lengua quecchi y chocotorro o mirasol, bilil o vara de cohete en el resto del país.

Frecuentemente se localiza en matorrales de bosques mixtos, compuestos generalmente por árboles de robles o de pinos, pero también es común en áreas periféricas de bosques, siendo muy utilizada en alimentación animal ya que su propagación es bastante rápida.

#### **2.7.5 *Fuchsia arborescens* L.**

Se localiza en la parte occidental y central de Guatemala; también se encuentra al Sur de México, Honduras, Costa Rica y Panamá. (Standley, 1958). En Guatemala se le conoce con los nombres vulgares de flor de verano, amor de verano, cinco negritos y fino amor; es propia de un bosque mixto y se ubica con frecuencia en el borde del bosque o en prados abiertos; a menudo en matorrales a alturas comprendidas entre los 1300 a 2900 msnm

Es un arbusto o árbol de 1,5 a 8,0 metros de altura con un tronco corto y grueso, hojas opuestas de color brillante y suave, por lo que es muy apetecida por pequeños rumiantes (ovejas y cabras).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### 3.1 Localización áreas de estudio

El estudio se realizó en cuatro localidades (Tabla 1) en un área de 67,72 km<sup>2</sup> con una altura sobre el nivel del mar en torno a los 2500 metros.

**Tabla 1. Localidades de estudio, altitud, tipología de bosques, y coordenadas donde se realiza el estudio.**

Localidad	Altitud (msnm)*	tipología de bosque	Coordenadas
Villa Hermosa	2529	caducifolio, aciculifolio	14°59'54.01N 91°46'32.71W
San José Caben	2578	caducifolio	14°55'28.21N 91°49'16.86W
San Andrés Chapil	2461	caducifolio, aciculifolio	14°59'17.69N 91°46'02.55W
La Grandeza	2498	caducifolio	14°59'48.98N 91°46'55.52W

Las comunidades estudiadas se seleccionaron al azar y se ubican en la parte media de la microcuenca del río naranjo (Figura 1).

**Figura 1 Microcuenca donde se realizó el estudio**



## **3.2 Suelo**

Se realizaron cuatro calicatas de un metro de profundidad en cada una de las comunidades estudiadas, para verificar el perfil del suelo a nivel de rizósfera, al mismo tiempo se tomaron veinte muestras de suelo del horizonte A para establecer sus características fisicoquímicas.

### **3.2.1 Análisis fisicoquímico del suelo**

Determinación de pH, materia orgánica, (Peña, Carrion, & Martínez, 2002); fósforo, nitrógeno (Bateman, 1970) y potasio (Novozamsky & Houba, 1987). Así mismo por el método de Bouyoucos se lleva a cabo el análisis de texturas considerando que el conocimiento de las diferentes fracciones de arena, limo y arcilla son parámetros necesarios en la clasificación de suelos.

### **3.2.2 Análisis de datos**

Se elaboró una matriz con los datos reportados por el análisis de suelos. Los valores obtenidos, se incluyeron en un análisis multivariado de componentes principales. Con los resultados provenientes de las cuatro localidades, se logró conocer la interacción existente entre los componentes fisicoquímicos del suelo, que influyen en los rendimientos de las plantas analizadas.

## **3.3 Datos microclimáticos**

Para la toma de datos climáticos se colocó una micro estación meteorológica, por localidad y en el área de mayor presencia de las especies forrajeras a evaluar. Lo anterior con la finalidad de obtener información del área de estudio respecto a temperatura, humedad relativa y precipitación (Figura 2)

**Figura 2 Equipo meteorológico utilizado en el estudio**



Este equipo marca “La crosse technology” modelo WS-2815U-IT, frecuencia 915 MHz, fabricado en el 2012, tiene como característica relevante que cuenta con un sensor de viento con energía solar y transmisor-receptor USB para la descarga de todos los datos meteorológicos con almacenamiento de hasta 3.000 registros de datos.

Los datos tomados de temperatura y humedad fueron enviados por medio de un sensor inalámbrico Thermo – Hygro a un ordenador y con intervalos de 15 días se descargaron para su posterior análisis e interpretación.

### **3.3.1 Proceso de datos**

Los datos climáticos obtenidos se colocaron en una base de datos a fin de obtener los índices bioclimáticos (Rivas-Martínez, 2007), con lo cual se obtiene la tipología climática de las distintas áreas estudiadas.

Para establecer algunos índices bioclimáticos se consultó el método de Emberger, a través de la aplicación de la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{100(p)}{2(T_{12} + t_1)/2(T_{12} - t_1)}$$



De donde:

Q= Índice de emberger

P = precipitación media anual

T<sub>12</sub> = Temperatura media de las máximas del mes más cálido

T<sub>1</sub> = Temperatura media de las mínimas del mes más frío

Por otro lado, se utilizó el índice de Lang, que se calcula a partir del resultado del cociente entre la precipitación total anual y la temperatura media anual de un lugar a través de la fórmula la siguiente:

$$I_{tp} = P/T$$

De donde:

I<sub>tp</sub> = índice termopluiométrico

P = precipitación media anual

T = temperatura media anual.

Así mismo, se compararon los datos obtenidos a través de los métodos Emberger y Lang con el índice de acidez de Martonne con el propósito de evitar valores negativos por ser más apropiados para climas fríos, a través de la formula siguiente:

$$I_m = P / (T+10)$$

De donde:

I<sub>m</sub> = índice de Martonne

P = Precipitación media anual

T = temperatura media anual

Dentro de los índices propuestos por Rivas- Martínez, et al, 2007, se consideraron los siguientes:

- a. Índice de continentalidad (I<sub>c</sub>):  
I<sub>c</sub> = T media – T mínima
- b. Índice de termicidad (I<sub>t</sub>):  
I<sub>t</sub> = T media anual + T media de las mínimas + T media de las máximas.
- c. Índice de termicidad compensado (I<sub>tc</sub>)  
I<sub>tc</sub> = I<sub>t</sub> ± valor de compensación
- d. Temperatura positiva anual (T<sub>p</sub>):

- $T_p = \sum$  de las temperaturas medias mensuales superiores a  $0^\circ\text{C}$ , expresadas en decimas de grado
- e. Temperatura negativa anual ( $T_n$ ):  
 $T_n = \sum$  de las temperaturas medias de los meses estivales más altos de  $0^\circ\text{C}$ , expresado en décimas de grado
- f. Precipitación positiva ( $P_p$ ):  
 $P_p =$  precipitación anual en mm de los meses con la temperatura superior a  $0^\circ\text{C}$ .
- g. Índice ombrotérmico ( $I_o$ ):  
 $I_o = P_p/T_p$

Con el cálculo del índice de termicidad compensado se puede caracterizar un termotipo determinado, así como el índice ombrotérmico anual permite definir un ombrotipo. La combinación de ambos determina el piso bioclimático.

### **3.4 Bromatología**

Para llevar a cabo el estudio sobre tipificación bromatológica de las especies forrajeras y considerando que se trata de condiciones uniformes de microclima, se toman cinco muestras de hojas y tallos tiernos del material vegetal estudiado por cada especie, correspondiente a las cuatro localidades.

### **3.5 Análisis químico**

Se realiza un análisis químico proximal, que permite conocer el valor nutricional (Salazar, 2012), en el que se determina % de materia seca, % de fibra cruda, % de proteína, % de grasa y % de cenizas, para que al final se llegue a determinar la cantidad de carbohidratos y energía.

#### **3.5.1 Obtención de niveles de materia seca**

Debido a la naturaleza anatómica y celular de algunas plantas se consideran tres procesos parciales para la obtención de la materia seca real empleando la siguiente fórmula (Van Soest & Wine, 1970)

$$\text{Materia seca parcial} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara} \times 100}{\text{Peso inicial}}$$

#### **a. Materia seca parcial**

Para la determinación de materia seca parcial (m.s.p.) las muestras se secan en estufa a 60°C hasta alcanzar un peso constante de 500g (Dulphy & Demarquily, 1981).

#### **b. Materia seca total**

Para la determinación de materia seca total (m.s.t.) se utilizan de 3 a 5g de muestra del material deshidratado previamente, ésta se muele dejando partículas de 2 mm, se coloca en el horno a una temperatura de 105°C por un tiempo de 18 a 48 horas (Dulphy & Demarquily, 1981).

#### **c. Materia seca real**

Para la determinación de materia seca real (m.s.r.) se utiliza la fórmula siguiente (Dulphy & Demarquily, 1981)

$$\text{m.s.r.} = \frac{\% \text{m.s.p} * \text{m.s.t}}{100}$$

### **3.5.2 Obtención de cenizas**

Se determina con el propósito de cuantificar la fracción mineral de un alimento y/o analizar posteriormente cada mineral, siguiendo el método propuesto por Bateman (1970).

El resultado final del contenido de cenizas se expresa en % sobre el peso de la misma.

### **3.5.3 Obtención de proteína cruda.**

Se emplea el método de Kjendahl (Bateman, 1970), el cual se basa en la hidrólisis ácida de la materia orgánica de la muestra.

### **3.5.4 Obtención de proteína digestible**

Esta se obtiene en base al método macro Kjendahl a temperatura alta para digestión (Bateman, 1970).

### **3.5.5 Obtención de fibra cruda**

La obtención de fibra cruda se hace a través del método propuesto por V. Soest, (1970).

### **3.5.6 Obtención de fibra digestible.**

Esta se determina por medio de “métodos gravimétricos”. En la muestra desengrasada se hidrolizan enzimáticamente los componentes (1,4  $\alpha$  glicanos, proteínas), quedando únicamente la fibra dietética insoluble en agua (Ballester, 2014)

### **3.5.7 Determinación de extracto etéreo:**

Para cuantificar este elemento se utiliza el método de separación de grasas (Bateman, 1970) a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ EE} = \frac{\text{Peso final de la muestra} - \text{peso inicial de la muestra}}{\text{Peso inicial de muestra}} \times 100$$

### **3.5.8 Extracto libre de nitrógeno**

Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente.(Bateman, 1970).

Cálculo

$$\text{Extracto Libre de Nitrógeno (\%)} = 100 - (A+B+C+D+E)$$

Dónde:

- A = contenido de humedad (%)
- B= contenido de proteína cruda (%)
- C= contenido de lípidos crudos (%)
- D= contenido de fibra cruda (%)
- E= contenido de ceniza (%)

### **3.5.9 Proceso de datos obtenidos**

Los datos de las muestras obtenidas en todas las localidades se someten a un análisis de varianza (ANOVA), mediante el cual se establece si existen diferencias estadísticas significativas en cuanto a las variables analíticas obtenidas.

### **3.5.10 Definición de las variables: tipos y formas de análisis**

Se han definido como variables cuantitativas, tipificación ecológica, tipificación bromatológica y tipos de suelos.

## **3.6 Caracterización de los sistemas agroforestales (SAF)**

Se llevó a cabo un estudio preliminar en las cuatro localidades con la finalidad de determinar los principales sistemas agroforestales bajo un enfoque cualitativo, elaborando un cuadro matriz con los sistemas observados y los porcentajes correspondientes.

## **4 RESULTADOS**

---

## 4.1 Tipificación ecológica

### 4.1.1 Datos climatológicos de San José Caben.

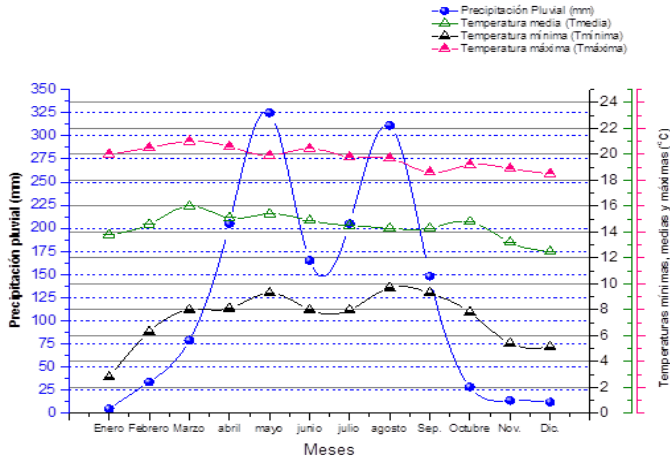
Los datos climatológicos obtenidos en la estación ubicada en San José Caben (Tabla 2), reportan que la precipitación media fue de 121.8 mm ( $\pm 112.74$ ), una temperatura media de 14.2°C ( $\pm 0.64$ ), temperatura mínima de 6.5°C ( $\pm 1.90$ ) y una temperatura máxima de 20.3°C ( $\pm 0.35$ ).

**Tabla 2. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas para la localidad de San José Caben**

Meses	T media	T maxima	T minima	T max. ab.	T. min. ab.	HR	PP
Enero	12.8	20.3	2.8	23.2	-1.3	82.8	4.1
Febrero	13.8	20.8	4.1	24.2	0.3	82.8	23.6
Marzo	14.6	21.0	6.6	24.0	0.0	83.8	66.7
abril	14.7	20.6	8.3	23.4	2.7	89.1	204.9
mayo	14.5	19.8	8.7	22.9	5.1	88.8	314.1
junio	14.9	20.5	8.1	23.4	5.9	87.0	164.0
julio	14.7	20.5	8.0	22.6	4.7	87.6	197.4
agosto	14.3	19.9	8.0	22.1	5.0	89.8	288.9
Septiembre	14.2	20.0	7.1	22.3	4.9	88.2	148.0
Octubre	14.1	20.1	5.3	22.8	3.8	85.9	28.6
Noviembre	13.1	20.2	4.6	23.1	1.5	83.9	13.9
Diciembre	14.1	20.4	6.1	23.0	-0.3	86.1	8.1

Al analizar los valores reportados por esta estación indican que la menor precipitación se presentó en el mes de enero (4.0 mm) y la mayor en el mes de mayo (314.0 mm). También se puede advertir que la canícula se presenta en los meses de junio y julio con valores promedios de 164.0 mm y 197.0 mm (Figura 3), mientras que las temperaturas se mantienen con menor variabilidad.

**Figura 3 Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas; climograma de la estación de San José Caben**



#### 4.1.2 Datos climatológicos de la estación de San Andrés Chapil

Los valores obtenidos en la estación que se ubicó en San Andrés Chapil (Tabla 3) corresponden a una precipitación pluvial media de 127.6 mm ( $\pm 116.25$ ), temperatura media 14.5°C ( $\pm 0.95$ ), temperatura mínima 7.3°C ( $\pm 2.04$ ) y la media de la temperatura máxima estimada 19.8°C ( $\pm 0.82$ ).

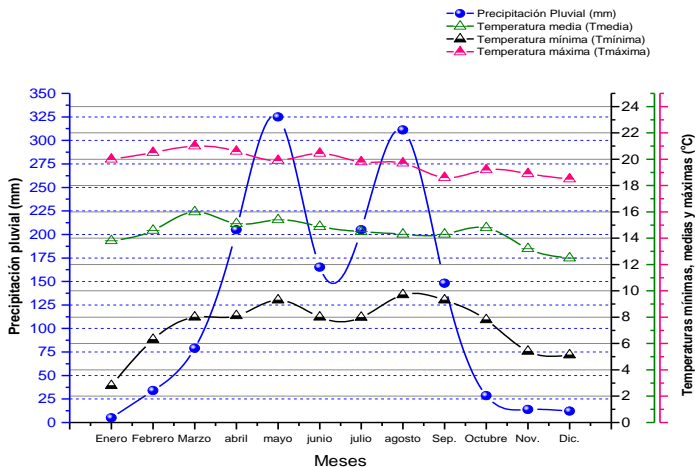


**Tabla 3. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, San Andrés Chapil**

Meses	T media	T maxima	T minima	T max. ab.	T. min. ab.	HR	PP
Enero	13.8	20.0	2.8	22.0	-2.0	81.0	5.0
Febrero	14.6	20.5	6.3	22.2	0.3	80.0	33.9
Marzo	16.0	21.0	8.0	22.4	2.9	79.0	79.0
abril	15.1	20.6	8.1	22.4	2.7	85.0	205.0
mayo	15.4	19.9	9.3	22.2	6.5	87.0	325.0
junio	14.9	20.5	8.0	23.0	6.0	88.0	165.1
julio	14.5	19.8	8.0	21.0	4.7	85.0	205.0
agosto	14.3	19.7	9.7	21.0	5.5	86.0	311.0
Septiembre	14.3	18.6	9.3	22.0	4.9	88.0	148.0
Octubre	14.8	19.2	7.8	20.2	3.2	84.0	28.6
Noviembre	13.2	18.9	5.4	21.0	2.0	82.0	13.9
Diciembre	12.5	18.5	5.1	20.0	-1.0	84.0	12.0

Los valores de precipitación reportados presentan variabilidad a lo largo del año, siendo los picos más altos en los meses de mayo y agosto, mientras que las temperaturas no muestran mucha variabilidad (Figura 4)

**Figura 4 Climagrama de la estación de San Andrés Chapil**



#### 4.1.3 Datos climatológicos de la estación de Villa Hermosa

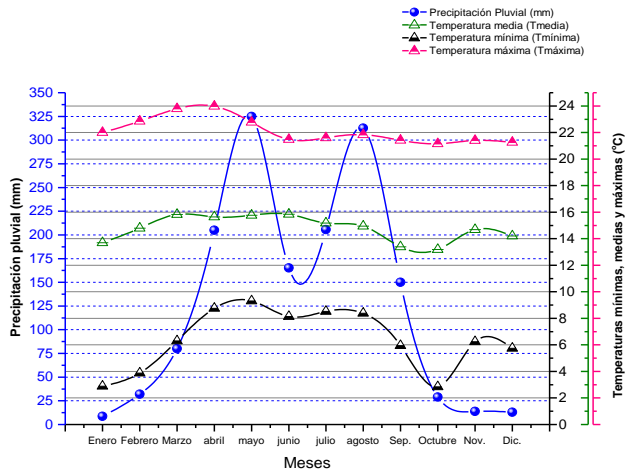
Los valores correspondientes a la localidad de Villa Hermosa (Tabla 4) reportan una precipitación pluvial media de 128.3 mm ( $\pm 116.2$ ), una temperatura media de 14.7°C ( $\pm 0.96$ ), temperatura mínima de 6.4°C ( $\pm 2.29$ ) y temperatura máxima de 22.1°C ( $\pm 0.99$ )

**Tabla 4. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, Villa Hermosa**

Meses	T media	T maxima	T minima	T max. ab.	T. min. ab.	HR	PP
enero	13.7	22.0	2.9	26.4	0.8	63.1	8.7
febreo	14.8	22.9	3.9	26.7	1.5	64.5	32.0
marzo	15.8	23.8	6.3	26.9	0.7	68.4	80.0
abril	15.6	24.0	8.8	26.1	4.3	74.5	204.9
mayo	15.8	22.8	9.3	24.2	5.0	79.4	325.0
junio	15.8	21.5	8.1	23.9	4.0	74.5	165.2
julio	15.2	21.6	8.5	24.0	4.1	76.1	205.6
agosto	15.0	21.8	8.4	23.5	5.2	81.2	312.5
septiembre	13.4	21.4	6.0	23.9	2.6	79.3	150.0
octubre	13.2	21.2	2.8	23.8	0.5	85.0	29.0
noviembre	14.7	21.4	6.2	24.6	0.5	68.6	13.9
diciembre	14.2	21.3	22.0	28.0	-3.1	72.3	13.0

Al observar los valores de precipitación para Villa Hermosa se tiene que los meses de mayor lluvia fueron mayo y agosto (Figura 5), mientras que las medias de las temperaturas no muestran mucha variabilidad.

**Figura 5. Climagrama de la estación de Villa Hermosa**



#### 4.1.4 Datos climatológicos de la estación de La Grandeza

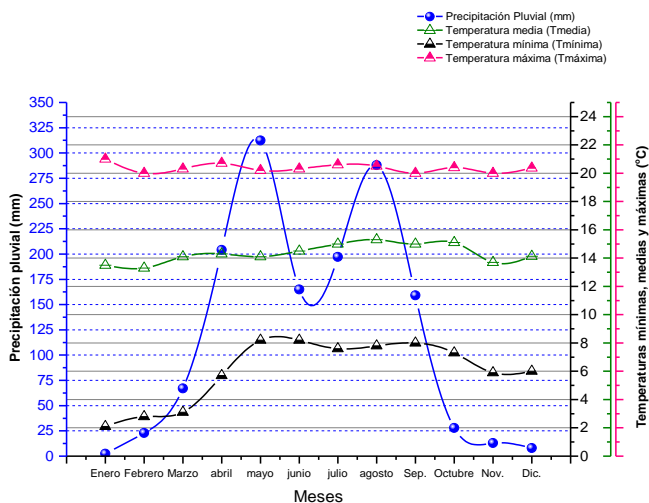
Los valores obtenidos en la estación ubicada en la localidad de la Grandeza (Tabla 5), muestran una precipitación pluvial media de 122.2 mm ( $\pm 112.94$ ), una temperatura media de 14.3°C ( $\pm 0.66$ ), temperatura mínima de 6.0°C ( $\pm 2.24$ ) y una temperatura máxima de 20.4°C ( $\pm 0.31$ )

**Tabla 5. Valores medios de precipitación pluvial, temperaturas mínimas, medias y máximas, La Grandeza**

Meses	T media	T maxima	T minima	T max. ab.	T. min. ab	HR	PP
Enero	13.50	21.00	2.10	22.00	-1.00	85.00	2.40
Febrero	13.3.	20.00	2.80	21.90	0.27	80.00	22.90
Marzo	14.10	20.30	3.10	23.80	2.00	89.00	67.00
abril	14.3.	20.70	5.70	22.90	2.85	79.00	204.10
mayo	14.10	20.20	8.20	22.88	6.00	87.00	312.45
junio	14.50	20.30	8.20	23.50	6.40	86.00	165.00
julio	15.00	20.60	7.60	22.40	4.00	83.00	197.10
agosto	15.30	20.50	7.80	22.50	5.96	84.00	287.90
Septiembre	15.00	20.00	8.00	22.00	5.50	87.00	159.20
Octubre	15.10	20.40	7.30	22.75	5.40	85.00	27.90
Noviembre	13.70	20.00	5.90	22.00	2.00	85.00	12.95
Diciembre	14.13	20.37	6.00	22.00	-4.00	86.14	7.98

Analizando los valores medios obtenidos en la Grandeza, se observa que los picos de mayor precipitación se presentaron en mayo y agosto (Figura 6), mientras que las temperaturas no muestran mucha variabilidad.

**Figura 6. Climograma de la estación de la Grandeza**



Al analizar los valores medios de las temperaturas reportadas en las cuatro estaciones a lo largo del años (Tabla 6), se observa que estas no presentan mayores cambios, sin embargo se observa mayor variabilidad de la temperatura máxima en las estaciones de San José Caben y la Grandeza, mientras que la precipitación se mantuvo más constante.

**Tabla 6. Coeficientes de variación de las variables de precipitación pluvial, temperatura media, mínima y máxima en las cuatro estaciones.**

Estaciones	precipitación pluvial	Temperatura media	Temperatura mínima	Temperatura máxima
San José Caben	92.5	4.5	29.0	1.7
San Andrés Chapil	91.3	3.4	27.8	4.1
Villa Hermosa	90.5	6.5	35.6	4.5
La Grandeza	92.3	4.6	37.2	1.5

A partir de los datos del coeficiente de simetría para las variables estudiadas, en las cuatro estaciones (Tabla 7) se puede establecer que los valores de precipitación pluvial son muy similares e indican una concentración de sus datos hacia el lado derecho de su media. En el caso de la temperatura media, los valores apuntan a que existe una concentración hacia el lado izquierdo de sus respectivas medias. Sin embargo, la estación de La Grandeza tiene el valor más bajo y San José Caben el más alto. En el caso de las temperaturas mínimas los valores registrados en todas las estaciones, se encuentran ubicados al lado derecho de su media. En el caso de la temperatura máxima, la estación de Villa Hermosa se distingue por tener el valor más alto de simetría.

**Tabla 7. Coeficientes de simetría para precipitación pluvial, temperaturas media, mínima y máxima en las cuatro estaciones.**

Estaciones	precipitación pluvial	Temperatura media	Temperatura mínima	Temperatura máxima
San José Caben	0.5	-1.1	-0.6	0.3
San Andrés Chapil	0.6	-0.6	1.0	-0.2
Villa Hermosa	0.6	-0.5	-0.4	1.0
La Grandeza	0.5	-0.1	-0.8	0.6

#### **4.1.5 Caracterización bioclimática de acuerdo al análisis de veinte años reportados por el Instituto de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH)**

El clima en las cuatro localidades estudiadas se caracteriza por una temperatura media anual de 14.1°C. Los picos más altos de temperatura se presentaron en los meses de abril a mayo y los más bajos en diciembre, enero y febrero. La precipitación anual fue de 1.458 milímetros distribuidos a lo largo de año y se reportaron los índices más altos en los meses de junio y septiembre con 312.2 y 284.1 respectivamente. En cuanto a la humedad relativa, se observó que el mes más húmedo fue septiembre con un 90% (Tabla 8).

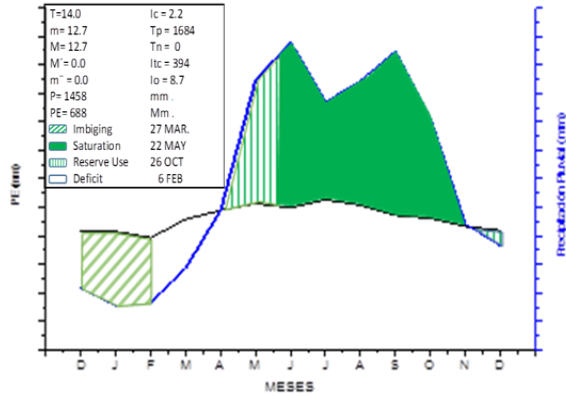
**Tabla 8. Datos climáticos de la estación meteorológica, ubicada en la escuela de Formación Agrícola (EFA), San Marcos. (Periodo 1990–2010)**

Meses/ Parámetros	T media	T max	T min	T maxabs	T min abs.	HR	PP
<b>Enero</b>	12.9	20.3	3.0	23.1	-1.0	83.0	3.8
<b>Febrero</b>	12.7	20.2	3.7	23.2	0.4	82.0	6.6
<b>Marzo</b>	13.8	20.8	4.2	24.1	0.1	83.0	27.8
<b>Abril</b>	14.6	21.0	6.7	23.0	2.8	84.0	65.5
<b>Mayo</b>	14.7	20.6	8.2	23.3	5.1	89.0	202.4
<b>Junio</b>	14.4	19.9	8.8	22.8	6.0	89.0	312.2
<b>Julio</b>	14.7	20.5	8.2	23.3	4.8	87.0	163.7
<b>Agosto</b>	14.9	20.5	7.9	22.6	5.0	88.0	193.5
<b>Septiembre</b>	14.7	20.0	8.0	22.2	4.9	90.0	284.1
<b>Octubre</b>	14.3	20.0	7.1	22.3	3.8	86.0	143.6
<b>Noviembre</b>	14.2	20.1	5.3	22.8	1.5	86.0	38.3
<b>Diciembre</b>	13.1	20.2	4.6	23.1	-0.3	77.0	15.5
<b>Anual</b>	14.1	20.4	6.3	25.4	-2	85.0	1458

Referencias: T (temperatura), Tmax(temperatura máxima), Tminabs (temperatura mínima absoluta), Tmaxabs (temperatura máxima absoluta), Tminabs (Temperatura mínima absoluta), HR (humedad relativa, PP (precipitación), VKm/h (vientos kilómetros por hora)

De los datos climatológicos registrados para un periodo de veinte años, se establece un periodo húmedo de marzo a octubre y uno seco de noviembre a febrero (Figura 7)

**Figura 7. Diagrama bioclimático de la microcuenca del río Naranjo (San Marcos)**



#### 4.1.6 Índices bioclimático en base a datos de las microestaciones colocadas en las cuatro localidades estudiadas

Los índices bioclimáticos de la microcuenca se determinaron con base a la metodología de Rivas Martínez, et.al (2007), cuyos resultados se observan en la (Tabla 9).

**Tabla 9. Índices bioclimáticos de la estación meteorológica de la EFA, San Marcos.**

Índice	Estación
Índice de continentalidad (Ic)	2.2
Índice de termicidad (It)	394
Índice de termicidad compensado (Itc)	394
Temperatura positiva anual (Tp)	1684
Temperatura negativa anual (Tn)	0
Precipitación positiva (Pp)	1458
Índice ombrotermico (Io)	8.7
Temperatura media anual (T)	14

De acuerdo a la clasificación de los tipos, subtipos y niveles de continentalidad que se reconocen, la microcuenca del río Naranjo se ubica en el tipo hiperoceánico, subtipo ultrahiperoceánico atenuado (2.2), cuyos rangos establecidos están entre 2.0 y 4.0.

Al establecer una correspondencia entre los valores de ciertos parámetros e índices bioclimáticos, como la precipitación positiva y el índice de termicidad se estableció que el área de estudio se localiza en un tipo térmico, microtérmico con una temperatura fría y según su latitud se ubica en un clima tropical (Rivas, 2007) coincidiendo con lo propuesto por Martonne y Lang, lo que también tiene mucha relación con el tipo de cultivos que predominan en el área como son trigo, avena, papa, frutales deciduos y legumbres como el haba, frijol y arvejas.

Por lo anterior el área pertenece a un tipo de macrobioclima templado tropical (2461 a 2587 msnm) (Rivas Martínez, 1996-2009).

De acuerdo al valor del índice ombrotermico del área de la microcuenca ( $Io=8,7$ ) ésta, se puede encuadrar en el ombrotipo húmedo inferior de Rivas Martínez (valores comprendidos entre 6 y 9).



## 4.2 Tipificación bromatológica

### 4.2.1 Humedad

El análisis de varianza desarrollado para la variable contenido de humedad no muestra diferencias significativas entre las especies estudiadas (Tabla 10). La especie *E. berteroana*, posee el contenido de humedad más alto, con una media de 85.7 ( $\pm 0.8$ ). Lo anterior se explica porque esta planta es mucho más suculenta, que las otras cuatro especies.

**Tabla 10. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de humedad de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>V. apleura</i>	4	85.2	$\pm 3.7$ a
<i>B. caudata</i>	4	82.4	$\pm 4.2$ a
<i>E. berteroana</i>	4	85.7	$\pm 0.8$ a
<i>F. arborescens</i>	4	85.4	$\pm 0.9$ a
<i>P. maculata</i>	4	83.6	$\pm 2.8$ a

### 4.2.2 Materia seca total

Al comparar el % de materia seca total (mst), no se encontró diferencias estadísticas significativas al nivel de confianza del 95% (Tabla 11). Sin embargo, los valores más altos los reporta *B. caudata* por ser una planta con abundante área foliar y que se desarrolla en un ambiente con alto contenido de humedad.

**Tabla 11. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de materia seca total de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>V. apleura</i>	4	14.8	$\pm 3.7$ a
<i>B. caudata</i>	4	17.6	$\pm 4.2$ a
<i>E. berteroana</i>	4	14.1	$\pm 0.8$ a
<i>F. arborescens</i>	4	14.6	$\pm 0.9$ a
<i>P. maculata</i>	4	16.3	$\pm 2.0$ a

### 4.2.3 Extracto etéreo

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticas significativas (Tabla 12) conformándose dos grupos (a y b). Un primer grupo conformado por *V. apleura*, *B. caudata* y *E. berteroana* con los valores más altos y un segundo grupo por *F. arborescens* y *P. maculata*.

**Tabla 12. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de extracto etéreo de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>V. apleura</i>	4	5.2	$\pm 1.4$ a
<i>B. caudata</i>	4	4.4	$\pm 0.5$ a
<i>E. berteroana</i>	4	4.7	$\pm 0.4$ a
<i>F. arborescens</i>	4	1.3	$\pm 0.1$ b
<i>P. maculata</i>	4	2.0	$\pm 0.3$ b

### 4.2.4 Fibra cruda

Los valores del contenido de fibra cruda (FC) en las cinco especies estudiadas muestran diferencias significativas reportando la media más alta *E. berteroana*. (Tabla 13)

**Tabla 13. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de fibra cruda de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>E. berteroana</i>	4	29.1	$\pm 5.7$ a
<i>F. arborescens</i>	4	19.8	$\pm 1.1$ b
<i>V. apleura</i>	4	19.2	$\pm 1.5$ b
<i>B. caudata</i>	4	17.6	$\pm 4.0$ b
<i>P. maculata</i>	4	17.1	$\pm 0.6$ b

#### 4.2.5 Proteína cruda

Al realizar el análisis de varianza para proteína cruda, se comprueba que existen diferencias significativas, (Tabla 14) entre especies. Se encontró que los valores más altos correspondieron a *E. berteriana* y *P. maculata*. Se conformaron dos grupos, uno integrado por *E. berteriana* y *P. maculata* y otro por *V. apleura*, *F. arborescens* y *B. caudata*.

**Tabla 14. Valores medios ( $\pm$ e.s) para contenido de proteína cruda de las cinco especies forrajeras en las cuatro localidades de estudiadas ( $P \leq 0.05$ ).**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>E. berteriana</i>	4	30.7	$\pm 2.1^a$
<i>P. maculata</i>	4	29.9	$\pm 0.4 a$
<i>B. caudata</i>	4	27.0	$\pm 3.3 b$
<i>V. apleura</i>	4	23.3	$\pm 2.2 b$
<i>F. arborescens</i>	4	20.3	$\pm 2.2 b$

#### 4.2.6 Cenizas

Respecto al contenido de cenizas (Tabla 15) hay diferencias significativas entre *B. caudata* respecto a las demás. Al realizar la separación de medias se conforman dos grupos estadísticos diferentes.

**Tabla 15. Valores medios ( $\pm$ e.s) para el contenido de cenizas de las cinco especies forrajeras en las cuatro comunidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>B. caudata</i>	4	17.7	$\pm 1.6a$
<i>V. apleura</i>	4	16.7	$\pm 2.3 b$
<i>P. maculata</i>	4	15.6	$\pm 2.2 b$
<i>F. arborescens</i>	4	10.8	$\pm 1.3 b$
<i>E. berteriana</i>	4	10.7	$\pm 0.6 b$

#### 4.2.7 Extracto libre de nitrógeno

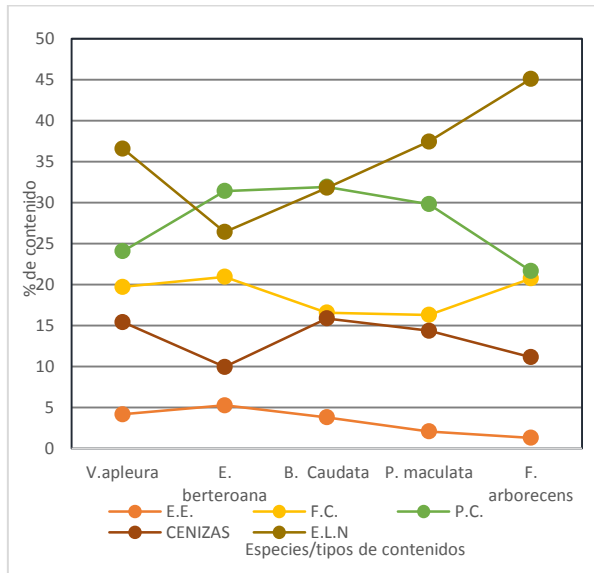
El análisis de varianza para extracto libre de nitrógeno (Tabla reporta que existen diferencias estadísticas significativas, conformándose tres grupos homogéneos, un primer grupo formado por *F. arborescens* con el valor más alto, un segundo grupo que incluye a *V. apleura*, *P. maculata* y *B. caudata* y el tercer grupo que contiene a *E. berteroana*.

**Tabla 16. Valores medios ( $\pm$ e.s) para extracto libre de nitrógeno en las cinco especies forrajeras en las cuatro comunidades estudiadas ( $P \leq 0.05$ )**

Especie	N	$\bar{X}$	e.s
<i>F. arborescens</i>	4	47.8	$\pm 3.3a$
<i>V. apleura</i>	4	35.6	$\pm 4.2 b$
<i>P. maculata</i>	4	35.4	$\pm 2.2 b$
<i>B. caudata</i>	4	33.2	$\pm 4.3 b$
<i>E. berteroana</i>	4	23.3	$\pm 2.8 c$

Al analizar las cinco especies en conjunto (Figura 8), se observa que *F. arborescens* reporta el nivel más alto de extracto libre de nitrógeno, mientras que el contenido de fibra cruda y proteína cruda más alto está en *E. berteroana*. Es decir, de acuerdo a los resultados, se puede considerar a esta especie como la mejor para alimentación animal, sin dejar por un lado la importancia manifestada por *V. apleura* y *B. caudata*, que también tienen contenidos bastante aceptables.

**Figura 8. Valores medios de los contenidos en nutrientes obtenidos para las cinco especies analizadas.**



#### 4.2.8. Caracterización de sistemas agroforestales

Los principales sistemas agroforestales caracterizados son los siguientes: Sistema de cercas vivas, arboles dispersos, cultivos en fajas, cortinas rompevientos, sistema agrosilvopastoril y huertos familiares; en cuanto a las características propias de cada sistema, se determinó que predominan en orden de mayor presencia las especies de *E. berteriana*, *V. apleura*, *P. maculata*, *F. arborecens* y *B. caudata*.

Los resultados obtenidos de estos sistemas agroforestales permitirán plantear trabajos de investigación orientados a estudiar métodos de propagación y siembra, épocas de corte y aprovechamiento, brindándole a los agricultores del área, las mejores alternativas tecnológicas, con el propósito de mejorar la producción y productividad agropecuaria de los mismos.

## 4.3 Edafología

### 4.3.1 Análisis de componentes principales

El Análisis de componentes principales es una técnica multivariante que permite identificar y describir, de manera sintética, la estructura y las interrelaciones de las variables o factores obtenidos en el estudio, a los cuales se les ha nombrado, de acuerdo a las variables que más contribuyen a su formación, componentes 1 y 2.

De ahí que, la aplicación central del análisis de componentes principales en este trabajo, fue la simplificación de un conjunto de datos, procedentes de variables cuantitativas del contenido bromatológico de las diferentes especies de leñosas forrajeras estudiadas así como de suelo y clima.

Lo anterior ha sido alcanzado, a partir de combinaciones lineales de variables originales (variables bromatológicas y de clima), un nuevo conjunto de dos variables, no correlacionadas que han sido nombradas como **“suelo y clima”** y **“Contenido nutricional de las especies”**, respectivamente para los componentes principales (CP) 1 y 2, como se describe más adelante.

En estos componentes, se mantiene la variabilidad presente de los datos originales y que una vez ordenados de manera decreciente por su varianza, permitieron explicar el fenómeno de estudio con los primeros dos componentes principales. La selección del número de componentes para explicar la varianza se hizo a través del diagrama de sedimentación. El criterio de la selección de dos componentes fue el de Keister Meyer y Olkin (KMO), que se obtiene a través del programa SPSS, sobre el valor propio mayor a 1. Además, la varianza asociada a cada factor se utilizó para determinar el número de factores que deben retenerse.

En la tabla 17 se muestra el porcentaje de varianza acumulada (71.81%) del modelo que es explicado por los dos componentes. Es decir, hay una pérdida de información aproximadamente de 28% de las variables originales, debido a que no existe correlación entre ellas mismas o es muy baja. El primer componente principal explica el

42.23% y el segundo el 29.58% del comportamiento de las variables. Lo anterior se traduce en la generación de dos nuevos indicadores o índices.

De quince variables analizadas inicialmente (Ph, temperatura media, % de humedad, Ppm de P, meq/100gr de K, meq/100 gr de Ca, % de materia orgánica, % de extracto etéreo, % de proteína cruda, % de cenizas, % de extracto libre de nitrógeno, meq/100gr de Mg, contenido de agua, % de materia seca total y % de fibra cruda), se identificaron ocho variables que mostraron valores apropiados de correlación en magnitud y signo, para realizar el análisis multivariado. En este caso las variables de contenido de agua, % de humedad ambiental, Meq/100 gr de calcio, meq/100 gr de magnesio, % de materia seca, partes por millón de fósforo, temperatura media y % de materia orgánica, son las variables mejor explicadas por los dos componentes (Tabla 17).

**Tabla 17. Número de elementos extraídos por el análisis de componentes Principales (% de varianza explicada)**

Compo- nente	auto valores iniciales (eigen value)		
	Totales	% de la varianza	% acumulado
1	3.4	42.2	42.2
2	2.4	29.6	71.8*
3	0.9	12.4	84.2
4	0.5	6.3	90.5
5	0.4	5.2	95.7
6	0.2	2.9	98.7
7	0.1	1.3	100.0
8	0.0	0.0	100.0

**\*porcentaje total que explica los dos componentes, que analiza las especies**

La tabla 18, muestra el conjunto de variables que se encuentran correlacionadas fuertemente con cada uno de los componentes. Es así como el componente 1, tiene como variables más representativas (aquellas con valores de pesos más altos) a meq/Mg, PpmP, humedad y Tmedia. Al mismo tiempo, estas variables se encuentran correlacionadas entre sí de manera positiva y negativa. En este último caso, la variable Tmedia (temperatura media) se encuentra correlacionada de manera negativa con humedad, meq/Mg y PpmP. Es de-

cir, en la medida que aumenta el valor de la humedad, meq/Mg, PpmP, disminuye el valor de la temperatura media y viceversa.

A las nuevas variables generadas (componentes 1 y 2) normalmente se les debe asignar un nombre y por el tipo de variables que se combinan linealmente para formar el componente 1, a este se le puede llamar componente “suelo y clima” (SC).

**Tabla 18. Pesos de los Componentes (suelo y clima; contenido nutricional de las especies)**

Parámetros	Suelo y clima	Contenido nutricional de especies
Agua	0.28	-0.51
H°ambiental	0.45	0.05
meq/Ca	0.30	0.51
meq/Mg	0.47	-0.10
Mst	-0.28	0.51
PpmP	0.33	0.18
Tmedia	-0.35	-0.06
%Mo	0.29	0.37

**La ecuación del componente suelo y clima (SC) es la siguiente:**

$$SC = 0.28 * \text{Agua} + 0.45 * \text{Humamb} + 0.30 * \text{meqCa} + 0.47 * \text{meqMg} - 0.28 * \text{mst} + 0.33 * \text{ppmP} - 0.35 * \text{Tmedia} + 0.29 * \% \text{Mo}$$

Como se observa, los coeficientes más del componente “suelo clima” correspondientes a meqMg, humedad, temperatura media y partes por millón de fósforo.

Las variables que más son explicadas por el componente 2, corresponden a las que tienen el coeficiente más alto. Es decir materia seca total, agua, meqCa y porcentaje de materia orgánica y como resultado de las variables que se correlacionan se puede nombrar a este componente 2, como “Contenido nutricional de especies” (CNE), este nombre parece no incluir al calcio. Lo anterior es debido a que el valor del coeficiente de este elemento se encuentra compartido entre los dos componentes.

Lo anterior es debido a que el valor del coeficiente de este elemento se encuentra compartido entre los dos componentes.



Sin embargo se puede observar el valor del coeficiente de este elemento para ambos componentes, aunque no se encuentra fuertemente asociado a uno de los dos.

**La ecuación del componente contenido nutricional de las especies es la siguiente:**  $CNE = -0.51 * \text{Agua} + 0.05 * \text{humamb} + 0.51 * \text{MeqCa} - 0.10 * \text{meqMg} - 0.51 * \text{mst} + 0.18 * \text{ppmP} - 0.06 * \text{Tmedia} + 0.37 * \% \text{Mo}$ .

La siguiente tabla permite ubicar a cada sitio dentro de las coordenadas de los componentes principales (Figura 19) de pesos del componente.

La ubicación relativa de las comunidades con respecto a la gráfica de coeficientes de las variables y componentes, destaca la relación entre comunidades y las variables.

**Tabla 19. Sitios que corresponden a los componentes “suelo y clima” y “contenido nutricional de especies”**

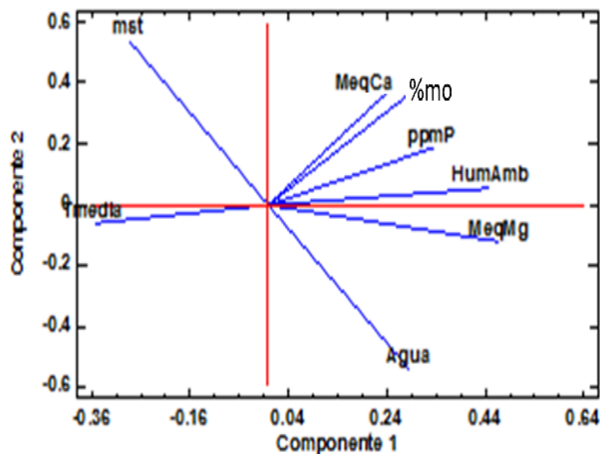
Fila	Comunidad	Suelo y clima	Contenido nutricional de las especies
1	La Grandeza	3.4	-0.3
2	La Grandeza	3.6	1.4
3	La Grandeza	3.5	-0.2
4	La Grandeza	0.4	-1.2
5	La Grandeza	0.7	-0.3
6	San Andrés Chapil	-1.5	1.9
7	San Andrés Chapil	0.6	-0.2
8	San Andrés Chapil	-1.2	2.3
9	San Andrés Chapil	-1.0	-0.2
10	San Andrés Chapil	-0.3	-1.0
11	San José Caben	1.8	-0.2
12	San José Caben	0.5	0.0
13	San José Caben	-1.6	3.3
14	San José Caben	-1.9	1.8
15	San José Caben	-0.5	-0.1
16	Villa Hermosa Palo Gordo	-2.2	-2.7
17	Villa Hermosa Palo Gordo	-1.3	-2.4
18	Villa Hermosa Palo Gordo	-0.5	-0.9
19	Villa Hermosa Palo Gordo	-0.7	0.5
20	Villa Hermosa Palo Gordo	-1.7	-1.4

Para ello, se identifican las localidades ubicadas en los cuadrantes y su cercanía y/o alejamiento con respecto a las variables que se ubican en la figura 9, pesos de componentes.

A partir del análisis del componente principal 1, se puede identificar que La Grandeza presenta los valores más altos de elementos del suelo; siendo estos: PpmP, meqMg. En el caso de variables climáticas, el valor más alto que se presentó fue % de humedad ambiental y el valor más bajo registrado fue el de temperatura media. Es decir, la temperatura media, se encuentra correlacionada de manera negativa con las variables PpmP, meqMg y % de humedad.

Por el otro lado, desde la perspectiva del componente 1, los sitios ubicados en las comunidades de San José Caben, San Andrés Chapil y Villa Hermosa, contrasta con los de La Grandeza. Es decir, mientras que en los sitios de La Grandeza se presentan valores altos de las variables MeqCa, %Mo, ppmP, H° ambiental, MeqMg y agua, en el resto de las comunidades, estos valores son bajos. Lo anterior, distingue a dos grupos de sitios de comunidades que contrastan debido a estas variables y se constituye en una guía que permite identificar sitios en los cuales se presentan condiciones de suelo y clima similares dentro de los dos grupos y diferente entre estos.

**Figura 9. Sitios que corresponden a los dos componentes principales**



Al analizar, desde la perspectiva del componente 2, (conformado por mst, agua, meqCa y % de materia orgánica), se observan valores altos de porcentaje de materia seca total, meq/100gr de Ca y % de materia orgánica, en dos sitios de San Andrés Chapil y San José Caben y uno en La Grandeza.

Luego, con los valores más bajos de las tres variables en cuestión, se encuentran seis sitios de las comunidades de La Grandeza y Villa Hermosa. Además, se observa que es en estos seis sitios, en donde se registraron los valores más altos de contenido de agua.

Considerando que el componente 1, ha permitido diferenciar a dos grupos de sitios de las cuatro comunidades en función a características climáticas (temperatura media y % de humedad) y de dos elementos del suelo (Ppm de P y Meq/100gr de Mg), se procedió a determinar la existencia de diferencias significativas o no, entre estos dos grupos de sitios, considerando como variables % de extracto etéreo, % de cenizas, % de extracto libre de nitrógeno, meq/100g de Mg, % de contenido de agua, % de materia seca total y % de fibra cruda.

La búsqueda de esta diferencia de los valores de las variables en mención, se hizo a través de la prueba de “t” de student, (Tabla 20), en la cual se muestra que no existe diferencia significativa entre localidades respecto a los valores de las variables % EE, % PC, % de contenido de agua y % MST; no obstante, existe diferencia significativa para % FC, % de cenizas y % ELN.

**Tabla 20. Prueba de T de student con muestras independientes**

Ns. *	Prueba levene	Prueba de T para la igualdad de medias							
		F	Sig	t	g.L	Sig. bila- teral	Diferencia de medias	95% IC	
								Inf.	Sup.
% E.E	1.09	0.3	.8	18	0.4	0.6	-1	2.3	
% PC	0.08	0.7	-.5	18	0.6	-1.0	-5	3.4	
% CEN		*	.8	17	0.3	-1.0	-4.	2.0	
% E.L.N		*	1	15	0.2	-4.2	11	2.9	
% agua	3.1	.6	2	18	0.0	2.8	0.3	5.2	
% MST	3.8	.6	2	18	0.0	-2.8	-5	-0.4	
%FC		*	3	14	0.0	5.2	1.2	9.1	

Levene = Prueba que permite determinar la igualdad de varianzas entre variables

Para determinar la existencia o no de correlación entre las variables de clima y suelo con el contenido de las especies se desarrollaron regresiones lineales múltiples sobre ellas.

#### 4.3.2 Regresión múltiple de la variable % de contenido de agua y meqCa y meqMg

Después de una sucesión de regresiones lineales múltiples con todas las variables de contenido de las especies, (variable dependiente) y variables de clima suelo (variable independiente), se encontró que la regresión lineal múltiple adecuada por el nivel de significancia del modelo, para la variable dependiente contenido de agua fue la inclusión solamente de las variables independientes meqCa y meqMg (Tabla 21).

**Tabla 21. Variable dependiente agua y variables independientes meqCa y meqMg**

Parámetro	estimación	e.s	Estadístico (T)	valor-P
Constante	84.4	1.3	66.4	0.0000
meqCa	-0.7	0.2	-3.8	0.0016
meqMg	3.0	0.6	5.2	0.0001

Los componentes principales están integrados por varios sitios (tabla 22), los que conforman cada uno de los componentes principales ya descritos.

**Tabla 22. Análisis de varianza para MeqCa y MeqMg.**

Fuente	$\Sigma$ de cuadrados	gl	CME	razón-F	valor-P
Modelo	98.3	2	49.1	14.9	0.0002
Residuo	55.9	17	3.3		
Total	154.3	19			

Los resultados de las tablas anteriores (21 y 22) muestran el ajuste del modelo regresión lineal múltiple para describir la relación entre

Agua y meqCa, meqMg. La ecuación del modelo ajustado es la siguiente:

$$\% \text{ de contenido de Agua} = 84.4 - 0.7 * \text{meqCa} + 3.0 * \text{meqMg}$$

Al realizar el análisis de varianza existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0% y el modelo ajustado explica 63.7% de la variabilidad en agua. La expresión de la ecuación del modelo de regresión múltiple, indica que el efecto del contenido del calcio en el suelo aumenta y contribuye a disminuir el % de contenido de agua. Mientras que el aumento de magnesio en el suelo, tiene un efecto positivo en el aumento del % de contenido de agua en las especies forrajeras.

#### 4.3.3 Regresión lineal simple entre % de materia seca y meqMg

En el caso de la variable % de materia seca total, se encontró que solamente correlaciona con la variable meq/100 gr Mg (Tablas 23 y 24).

**Tabla 23. Regresión simple mst vs. meqMg; variable dependiente materia seca total y variable independiente meqMg.**

Parámetros	mínimos cuadrados	e.s	Estadístico (T)	valor-p
Intercepto	18.9	1.2	15.3	0.0000
Pendiente	-2.2	0.7	-3.0	0.0075

**Tabla 24. Análisis de varianza para materia seca total y MeqMg.**

Fuente	Σ de cuadrados	gl	CME	razón-F	valor-P
Modelo	51.9	1	51.9	9.0	0.0075
Residuo	103.0	18	5.7		
Total	154.9	19			

Los resultados de la tabla de valores ajustados a un modelo lineal para describir la relación entre el % de materia seca total y meqMg dan origen a la ecuación del modelo ajustado: % de Materia seca total = 18.9 - 2.2\*meqMg

El ANOVA indica que existe una relación estadísticamente significativa entre mst y meqMg con un nivel de confianza del 95.0%.

Lo que indica que el modelo ajustado explica 33.5% de la variabilidad en el % de materia seca total. El coeficiente de correlación es igual a -0.6, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

De acuerdo a la ecuación del modelo, nos muestra que en la medida que crece el valor de meqMg, el valor del % de materia seca total disminuye.

#### 4.3.4 Regresión múltiple para el caso de % de fibra cruda.

De acuerdo a la serie de regresiones desarrolladas con las diferentes variables de contenido de las especies, se encontró un modelo significativo en el cual se involucran tres variables del suelo (Tablas 25 y 26).

**Tabla 25. Variable dependiente fibra cruda y variables independientes meqMg, ppmP y %Mo**

Parámetro	estimación	e.s	Estadístico (T)	Valor-P
Constante	12.2	4.2	2.9	0.0
meqMg	3.5	1.5	2.3	0.0
PpmP	-0.1	0.05	-2.1	0.05
%Mo	1.5	0.8	1.9	0.08

**Tabla 26. Análisis de varianza para las variables meqMg, ppmP y %Mo**

Fuente	∑ de cuadrados	gl	CME	Razón-F	Valor-P
Modelo	225.6	3	75.2	3.8	0.0310
Residuo	315.7	16	19.7		
Total	541.2	19			

En este caso los resultados ajustados al modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre fibra cruda y las variables

independientes meqMg, ppmP y % de materia orgánica, tiene como modelo la ecuación siguiente: Fibra cruda = 12.2 + 3.5\*meqMg - 0.09\*ppmP + 1.5\*%Mo

El ANOVA indica que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%, el modelo ajustado explica 41.67% de la variabilidad en % de fibra cruda.

La ecuación de regresión múltiple indica que las variables que más contribuyen a explicar el modelo son MeqMg y % de materia orgánica.

#### 4.3.5 Regresión simple: % de extracto etéreo y % de temperatura media.

La variable de % de extracto etéreo solamente correlaciona con la temperatura media, de acuerdo a los estadísticos analizados (tablas 27 y 28).

**Tabla 27. Regresiones simples para variable dependiente E.E y variable independiente Tmedia**

Parámetro	mínimos cuadrados	e.s	Estadístico (T)	Valor-P
	Estimado			
Intercepto	7.5	0.8	9.6	0.0000
Pendiente	-0.1	0.0	-5.4	0.0000

**Tabla 28. Análisis de Varianza para las variables de E.E. y Tmedia**

Fuente	suma de cuadrados	gl	CME	razón-F	valor-P
Modelo	34.5	1	34.5	29.6	0.0000
Residuo	21.0	18	1.2		
Total	55.5	19			

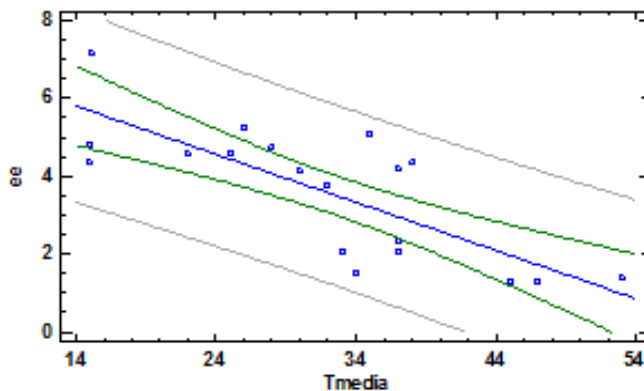
Después de haber contrastado todas las variables relacionadas al suelo y clima, se determinó que existe una correlación entre % de extracto etéreo y la temperatura media. Los resultados ya ajustados

de un modelo lineal para describir la relación entre el % de extracto etéreo y temperatura media, presenta una ecuación del modelo ajustado como sigue: % de extracto etéreo = 7.5 - 0.1\*Tmedia

El ANOVA indica que existe una relación estadísticamente significativa entre % de extracto etéreo y Tmedia con un nivel de confianza del 95.0%, el modelo ajustado (Figura 10) explica 62.17% de la variabilidad respecto al % de extracto etéreo. El coeficiente de correlación es igual a -0.79 indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Lo anterior sugiere que en la medida que aumenta la temperatura media, disminuye el % de extracto etéreo en las especies.

**Figura 10. Modelo ajustado de contenidos de extracto etéreo en las especies estudiadas.**



#### **4.3.6 Regresión % de proteína cruda y las variables climáticas % de humedad y temperatura media**

En este análisis de regresión lineal múltiple se encontraron como variables independientes que contribuyen a la explicación del modelo las variables climáticas: % de humedad y temperatura media (Tablas 29 y 30).



**Tabla 29. Regresión simple para variable dependiente: PC y Variables independientes: H° ambiental, temperatura media**

Parámetro	estimación	e.s	Estadístico (T)	valor-P
Constante	43.3	4.0	10.8	0.0000
H°ambiental	-0.2	0.1	-3.2	0.0048
Tmedia	-0.4	0.1	-4.4	0.0004

**Tabla 30. Análisis de Varianza para las variables humedad ambiental y temperatura media**

Fuente	∑ de cuadrados	gl	CME	razón-F	valor-P
Modelo	203.9	2	101.9	9.7	0.0016
Residuo	181.2	17	10.7		
Total	385.1	19			

Como se observa en el modelo que se presenta, el % de contenido de proteína cruda es una variable dependiente del % de humedad y de la temperatura media, dando como resultado el modelo ajustado siguiente:  $PC = 43.3252 - 0.149555 \cdot H^{\circ}amb - 0.416524 \cdot Tmedia$

El ANOVA de los datos de la tabla 24 es estadísticamente significativo entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%, el modelo así ajustado explica 52.95% de la variabilidad en el % de la proteína cruda.

Estos resultados indican que en la medida que el % de humedad y temperatura media aumentan, el % de proteína cruda en las especies tiende a disminuir.

#### **4.3.7 Variable % de cenizas.**

Las pruebas estadísticas de correlación desarrolladas, no muestran ningún grado de correlación significativa con las variables de suelo y clima (Tablas 31 y 32).

#### 4.3.8 Regresión múltiple de la variable % de extracto libre de nitrógeno y las variables independientes % de humedad y temperatura.

**Tabla 31. Regresión simple para variable dependiente ELN y variables independientes H°ambiental, Tmedia**

parámetro	estimación	e.s	Estadístico (T)	Valor-P
Constante	-2.1	3.7	-0.6	0.6
H°ambiental	0.2	0.04	5.2	0.0001
Tmedia	1.0	0.1	11.1	0.0000

**Tabla 32. Análisis de varianza para las variables Humedad ambiental, Tmedia**

Fuente	∑ de cuadrados	gl	CME	razón-F	Valor-P
Modelo	1241.22	2	620.6	67.8	0.0000
Residuo	155.6	17	9.2		
Total	1396.8	19			

La ecuación del modelo ajustado es  $ELN = -2.07499 + 0.220179 \cdot H^{\circ}amb + 0.981634 \cdot T\ media$

El ANOVA indica que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0% y el modelo ajustado explica 88.86% de la variabilidad en ELN.

#### 4.3.9 Análisis de componentes principales de variables de suelo.

Se realizó un muestreo de suelos con la finalidad de conocer sus características físicas y químicas, en donde se consideró analizar las siguientes variables: Ph, fósforo (p), cobre (Cu), Zinc (Zn), hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), Saturación de bases (sb), Materia orgánica (mo), arcilla, limo y arena.

De las variables analizadas, se identifica que las de mayor variabilidad fueron fósforo y zinc con un coeficiente de variación de 129.8%

y 128.7% respectivamente (Tabla 33). Seguidamente, fueron las variables potasio y hierro con valores de 98.0% y 99.0% respectivamente. Estas variables son las que ejercen una función discriminante por su variabilidad.

**Tabla 33. Análisis de variabilidad de elementos químicos del suelo**

Variabes	N	X	e.s	c.v.
Fe	20	7.01	6.93	98.91
P	20	34.69	45.01	129.75
Zn	20	5.78	7.43	128.65
Sb	20	37.34	13.91	37.26
K	20	.98	.96	97.94
Mg	20	1.54	.67	43.77
pH	20	6.13	.37	5.97
Ca	20	6.44	2.83	44.02
Cic	20	24.91	8.05	32.31
Limo	20	25.47	5.84	22.94

Al analizar las correlaciones y significancia se encuentra que el hierro guarda un nivel de correlación tanto positivo como negativo con fósforo, zinc, saturación de bases, intercambio catiónico y limo (Tabla 34). El fósforo también muestra correlación positiva y negativa con zinc, saturación de bases, intercambio catiónico y limo. De la misma manera el zinc, saturación de bases y potasio. Luego, la variable saturación de bases se encuentra correlacionada con potasio, magnesio, pH y calcio; el potasio correlaciona con magnesio, pH, y calcio. El resto de las variables también exponen niveles de correlación que evidencian una estructura subyacente en la matriz de correlaciones.

**Tabla 34. Matriz de correlaciones positivas y negativas entre componentes del suelo.**

Correlaciones										
	fe	p	zn	sb	k	mg	ph	ca	cic	limo
fe	1									
p	761**	1								
zn	740**	.519*	1							
sb	578**	632**	.536*	1						
k	.195	.147	622**	.488*	1					
mg	.002	.243	.349	.538*	768**	1				
ph	-.122	.011	.091	.489*	627**	657**	1			
ca	-.115	.002	.160	.496*	.466*	637**	566**	1		
cic	-.487*	-.428	-.094	-.146	.344	.487*	.419	724**	1	
limo	-.500*	-.530*	-.120	-.223	.159	.308	.207	588**	851**	1

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

\* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

A continuación se exponen las comunalidades que cuantifican la parte de la varianza que corresponde a los factores o componentes comunes de cada una de las variables obtenidas por el método de extracción del análisis de componentes principales (Tabla 35). Se puede distinguir que sus valores son adecuados en términos de la proporción que es explicada por el modelo.

**Tabla 35. Comunalidades de cada variable.**

Elemento	Inicial	Extracción
Fe	1.0	0,8
P	1.0	0,7
Zn	1.0	0,6
Sb	1.0	0,8
K	1.0	0,7
Mg	1.0	0,8
Ph	1.0	0,6
Ca	1.0	0,7
Cic	1.0	0,9
Limo	1.0	0,7

Al analizar el listado de auto valores y el porcentaje de varianza de cada factor (Tabla 36) y aplicando el criterio de selección de número de componentes en base a que el valor del factor sea igual o mayor que 1, se puede establecer que son dos los componentes a seleccionar. Estos dos factores o componentes, explican el 74.8%.

**Tabla 36. Auto valores iniciales y porcentaje de varianza de cada factor**

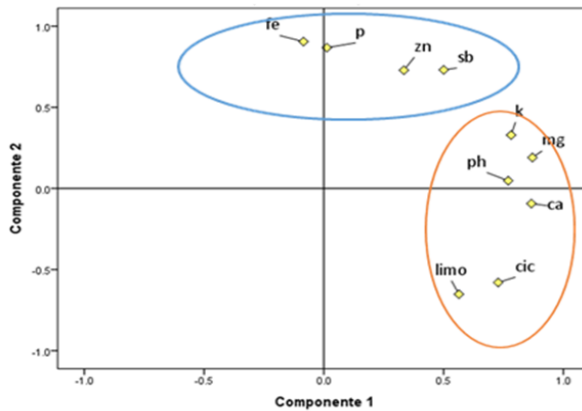
Componente	Auto valores iniciales			$\Sigma$ saturaciones al cuadrado extracción			$\Sigma$ saturaciones al cuadrado rotación		
	Total	Var. %	% acum	total	% var	% acum	total	% var	% acum
<b>1</b>	4,0	39,7	39,7	4,0	39	39,7	3,9	39	39,3
<b>2</b>	3,5	35,1	74,8	3,5	35	74,8	3,5	35	74,2
<b>3</b>	0,9	8,9	83,8						
<b>4</b>	0,7	7,0	90,8						
<b>5</b>	0,4	3,8	94,6						
<b>6</b>	0,2	2,3	96,9						
<b>7</b>	0,2	1,5	98,4						
<b>8</b>	0,1	0,8	99,3						
<b>9</b>	0,1	0,5	99,8						
<b>10</b>	0,1	0,2	100						

Como se ha indicado, los dos componentes explican el 74.8% de la variabilidad (el componente 1 explica el 39.3% en el componente 2, el 35.5%).

Las variables se agrupan por su correlación con los respectivos componentes (Figura 11). Se visualiza que cada grupo de variables correlaciona entre sí de manera positiva y también lo hacen con sus componentes. Los valores más altos, en el componente uno son para las variables calcio y magnesio. La variable limo, por la posición que guarda, comparte su valor con el componente 2. En el caso de las

variables del componente 2, el hierro es el que tiene el valor más alto, juntamente con el fósforo.

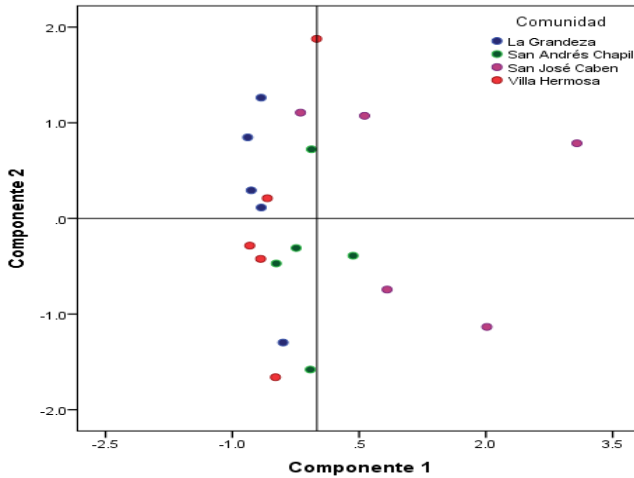
**Figura 11. Componentes de espacio rotado (permite develar la naturaleza de las interrelaciones entre las variables originales).**



Al sobreponer como variables explicativas, a las comunidades, de acuerdo a los valores tipificados adquiridos como resultado del análisis (Figura 12), se evidencia que hay cuatro sitios de los cinco estudiados de la comunidad de San José Caben, que se ubican en el lado derecho; lo anterior muestra que los suelos de los sitios de la localidad de San José Caben tiene altos contenidos de potasio, magnesio, calcio y limo y que además tienen valores altos de pH e intercambio catiónico. Dos de los sitios de esta comunidad también tiene altos contenidos de hierro, fósforo, zinc y saturación de bases. De manera contraria, los suelos de los sitios de las comunidades de La Grandeza y Villa Hermosa, se caracterizan por tener contenidos bajos de potasio, magnesio, calcio, limo, pH e intercambio catiónico.

En el caso de los suelos de los sitios de la comunidad de San Andrés Chapil, contienen cantidades medias de potasio, magnesio, calcio, limo, pH e intercambio catiónico con respecto al resto de las otras comunidades mencionadas. De esta comunidad, hay un sitio que se caracteriza por tener suelos con alto contenido de hierro, fósforo, zinc y saturación de bases. El resto de estos sitios, tienen valores bajos.

**Figura 12. Sobre posición de las comunidades en los espacios rotados**



Para conocer cuales elementos del suelo generaron una diferencia entre grupo de comunidades, se desarrolló una prueba de t de student entre pares de ellas (Tabla 37)

**Tabla 37. Matriz de diferencias entre comunidades debido al valor de los datos del contenido del suelo**

Municipios	La Grandeza	Villa Hermosa	San Andrés Chapil
San José Caben	saturación de bases y limo	saturación de bases y manganeso	saturación de bases
La Grandeza		Ningún elemento	Limo
Villa Hermosa			Magnesio

En esta tabla se puede establecer que la saturación de bases, es la que marca la diferencia entre la comunidad de San José Caben y el resto de las comunidades. También se puede notar que entre la Comunidad de La Grandeza y Villa hermosa, no hay ningún elemento del suelo que los diferencie. Es decir, en este sentido son similares.

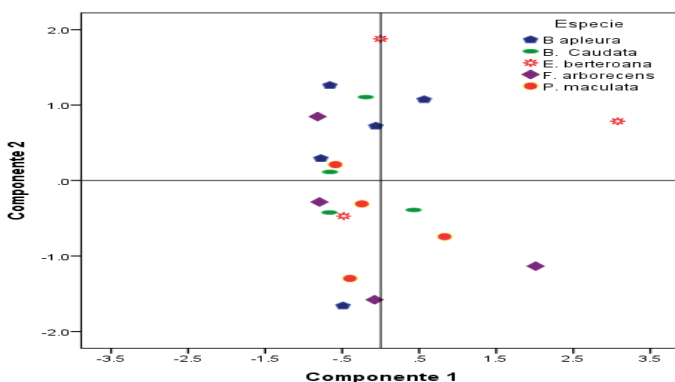
Lo anterior, se advierte al observar en la figura 13, la ubicación cercana que se establece entre ellas. Luego, entre la comunidad de San Andrés Chapil y Villa Hermosa, se identifica que la única diferencia es debida al contenido de manganeso siendo mayor en el caso de San Andrés Chapil, que en Villa Hermosa. En el caso de las comunidades de La Grandeza y San Andrés Chapil, la diferencia está establecida por el contenido de Limo siendo mayor en San Andrés Chapil.

#### 4.3.10 Contenido de elementos del suelo y sitios de las especies.

La mayoría de las localidades y sus suelos se ubican del lado izquierdo del componente 2 (Figura 13) y se caracterizan por el mediano a bajo contenido de potasio, pH, magnesio, calcio, limo e intercambio catiónico. Y por otro lado, las localidades y suelos que se ubican en la parte superior del componente 1, muestran valores medianos a altos de contenido de hierro, fósforo, zinc y saturación de bases y de manera inversa, los sitios ubicados en la parte inferior del mismo componente.

Al relacionar la anterior información con la ubicación de las especies (Figura 13), se puede distinguir que *V. apleura*, se localiza en suelos altos contenidos en hierro, fósforo, zinc y saturación de bases. Para las especies *B. caudata* y *E. Berteroana*, en dos de las situaciones es similar al caso anterior. Luego, para las especies *F. arborescens* y *P. maculata*, se desarrollan en suelos predominantemente bajos en los contenidos de los elementos mencionados.

**Figura 13. El suelo en las comunidades y especies de plantas.**





## 5 DISCUSIÓN

---

Las condiciones ecológicas de las localidades estudiadas han mostrado similitud en cuanto al grado de humedad y temperatura, observándose que no existe alta variabilidad en estos componentes; sin embargo para el conjunto se establece un índice pluviométrico de 344.2 (Emberger, L.; Martoone, 1929 & 2008)

Así mismo la clasificación de acuerdo con los tipos, subtipos y niveles de continentalidad que se reconocen (Rivas., 2007) la microcuenca del río Naranjo se ubica en el tipo hiperoceánico, subtipo ultrahiperoceánico atenuado, cuyos rangos establecidos por varios autores están entre 2.0 y 4.0 (Emberger, L.; Martoone, 1929 & 2008), lo que coincide con el índice de continentalidad que está en 2.2 según los datos recabados en la microcuenca.

Vale la pena mencionar que en las localidades estudiadas se presentan fuertes heladas durante los meses de noviembre a febrero, con ocurrencias de hasta  $-3^{\circ}\text{C}$ , por lo que se puede tipificar en esta época del año como un periodo pregélido (Rivas., 2007).

Al definir el macrobioclima se establece que se ubica el área en la región de clima templado, por encontrarse a una altitud comprendida entre los 2461 a 2587 msnm, que están establecidos en los bioclimas del mundo (Rivas., 2007).

Relacionando el índice ombrotérmico que registra el área de estudio con los índices establecidos en la tierra (Rivas., 2007), ésta, se ubica en un ombrotipo húmedo inferior comprendido entre 6.0 y 9.0, siendo el valor ombrotérmico de la microcuenca de 8.7.

Por otro lado las localidades estudiadas han mostrado similitud en cuanto al comportamiento del clima, lo que facilita el manejo de las especies de leñosas forrajeras utilizadas en alimentación animal; varios autores han estudiado el comportamiento de diferentes especies y su potencial bajo distintos climas (Benavides, 1994).

Por otro lado es de reconocer que la composición química de especies arbustivas y arbóreas ha sido reportada en varios trabajos realizados en diversas regiones del mundo (Benavides, J.; Esquivel, J.; Lozano, E., 1995) y cuyos resultados tienen mucha similitud con los reportados en este estudio. De los resultados obtenidos, se puede

afirmar que el contenido nutricional de las especies estudiadas depende de varios factores: uno de ellos es el contenido de proteína que se ve favorecido con el tipo de suelo y clima en que se desarrollan, lo cual es afirmado por otros autores (Flores, 1993); en algunos casos, este componente nutricional puede variar dependiendo de los suelos y las condiciones climáticas, pues, la temperatura tiene un efecto uniforme en todas las especies estudiadas debido a la cercanía que existe entre las localidades. Una regresión para determinar la disminución de 0.5 unidades de digestibilidad por cada grado centígrado de aumento de la temperatura, ha sido corroborada en otros estudios (Van Soest & Wine, 1970); la menor digestibilidad a temperaturas elevadas es debido a que la T° promueve una mayor lignificación de la pared celular. Por otro lado es de recordar que la alta variabilidad nutricional observada en las leñosas perennes reportadas puede ser atribuida a factores como la edad, parte de la planta, régimen de cosecha, época y localización de la misma.

Los estudios de especies leñosas realizados en diversas regiones del trópico, indican que el porcentaje de proteína cruda (PC) del follaje de árboles y arbustos, generalmente duplica al de las gramíneas, siendo este atributo nutricional el de mayor interés para alimentación animal y que se encuentra en este tipo de especies y en numerosos casos el contenido energético es también superior. Así, el contenido promedio de PC de las especies estudiadas corresponden a *E. berteriana* con 30.7% ( $\pm 2.1$ ), *P. maculata* con 29.9% ( $\pm 0.4$ ) y *B. caudata*, con 27.0 ( $\pm 3.3$ ); con respecto a materia seca los mejores valores corresponden a *B. caudata* y *P. maculata* con 17.6 ( $\pm 4.2$ ) y 16.3 ( $\pm 3.0$ ) respectivamente, lo anterior se compara con valores reportados en otros estudios (Mindson & Mcleod, 1970), en donde estos no sobrepasan el 16% de proteína y un nivel crítico de materia seca de 6.8%.

Por otro lado el contenido de PC varía en las partes de la planta en especial en las hojas más maduras, lo que reduce la tasa de degradación del follaje (Murgueitio, 1999). Por consiguiente, los estudios sobre la diversidad nutricional de algunos géneros de *Erythrina*, han mostrado variaciones entre y dentro de las especies en cuanto a contenido de PC, solubilidad de la proteína, contenido de nitrógeno no soluble y digestibilidad in vitro de la materia seca.

Al analizar los demás componentes de las especies estudiadas se llega a establecer que *E. berteroana* y *F. arborescens*, presentan niveles entre 10 a 12% de cenizas, ya que este componente representa el contenido en minerales del alimento; en general, como indican otros investigadores (Murgueitio, 1999), las cenizas suponen menos del 5% de la materia seca de los alimentos y los minerales, junto con el agua, son los únicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía; por el contrario, la materia orgánica comprende los nutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) que se pueden quemar (oxidar) en el organismo para obtener energía

En cuanto al contenido de fibra cruda en las cinco especies bajo estudio, se ha determinado que *E. berteroana* posee el nivel más alto ya que se encuentra en 29.1%, valor que coincide bastante con los reportados en otros estudios (Sanchez, B., Ruiz, J.L., Grande, D & López, Q., 2001), *F. arborescens* reportó un contenido de fibra de 19.8%; seguido por *V. apleura* con 19.2%; las especies *B. caudata* y *P. maculata* presentan valores por debajo del 18%. La importancia de este componente radica en que los rumiantes requieren cierta cantidad de fibra para estimular la función del rumen y mantener el nivel de grasa de la leche. Para vacas lecheras, 17 a 22% de fibra cruda en la materia seca es óptima. Si en la ración se incluye más del 22% de fibra cruda se perjudica la capacidad de consumo de alimento del animal. Y si se ofrece por debajo del 17% de fibra cruda el nivel de grasa de la leche se reduce, por lo tanto, las mejores especies en cuanto a contenido de fibra son *F. arborescens* y *V. apleura*.

Analizando el contenido de extracto etéreo, se observa que este es mayor en *V. apleura* con 5.2% y el contenido más bajo en *F. arborescens* con 1.3%, las especies *P. maculata*, *B. caudata* y *E. berteroana* están con valores entre 2.0% y 4.7%. La energía es el combustible para los animales, siendo la fuente más importante las grasas. Las necesidades de energía se dividen en las de mantenimiento y las de producción. Si la cantidad de energía en la ración es insuficiente, las bacterias del rumen no pueden convertir las proteínas requeridas y por consiguiente disminuye la producción láctea.

Finalmente en extracto libre de nitrógeno los niveles se encuentran bajos en *E. berteroana* y en *P. maculata*, con valores entre el 20

al 33%, mientras que *V. apleura* está reportó 35.6% y los niveles más altos están en *B. caudata* y *F. arborescens* con valores entre el 30 al 47.8%, respectivamente; así también, el follaje arbóreo contiene generalmente altas cantidades de fósforo y el calcio no es limitado, ya que este posee concentraciones elevadas (0,90%), lo cual es importante, debido a la relación que este mineral tiene con el metabolismo del fósforo.

En cuanto a los resultados obtenidos en los análisis de suelos se ha podido determinar que el pH, se encuentra con valores entre ligeramente ácido a neutro, lo que demuestra que estos suelos mantienen equilibrio en cuanto a la disponibilidad de calcio y magnesio y por lo tanto no se considera que haya retención de fósforo y de potasio, ya que estos elementos también están en los límites normales en todos los sitios que se han muestreado.

Se encontró que el hierro guarda un nivel de correlación tanto positivo como negativo con las variables: fósforo, zinc, saturación de bases, intercambio catiónico y el limo. El fósforo también muestra correlación positiva y negativa con las variables zinc, saturación de bases, intercambio catiónico y limo. De la misma manera el zinc, lo hace con las variables saturación de bases y potasio. Luego, la variable saturación de bases correlaciona con potasio, magnesio, pH y calcio. El potasio correlaciona con el magnesio, pH, y calcio. El resto de las variables también exponen niveles de correlación que evidencian una estructura subyacente en la matriz de correlaciones.

Como variables explicativas a las comunidades, de acuerdo a los valores tipificados adquiridos como resultado del análisis. Se evidencia que hay cuatro suelos de los cinco estudiados en la comunidad de San José Cabén, que se ubican en el lado derecho de los cuadrantes, cercano a los valores altos del grupo de variables del componente suelo y clima. Lo anterior muestra que los suelos de esta comunidad tienen altos contenidos de potasio, magnesio, calcio y limo y que además tienen valores altos de pH e intercambio catiónico. Dos de los suelos de esta comunidad también tienen altos contenidos de hierro, fósforo, zinc y saturación de bases. De manera contraria, los suelos de las comunidades de La Grandeza y Villa Hermosa, se caracterizan por tener contenidos bajos de potasio, magnesio, calcio, limo, pH e intercambio catiónico.

En el caso de los suelos de la comunidad de San Andrés Chapil, contienen cantidades medias de potasio, magnesio, calcio, limo, pH e intercambio catiónico, con respecto al resto de las otras comunidades mencionadas. Esta comunidad, se caracteriza por tener suelos con alto contenido de hierro, fósforo, zinc y saturación de bases.

Al realizar una comparación entre las cuatro localidades se determinó que la saturación de bases, es la que marca la diferencia entre San José Caben y el resto de localidades. También se puede notar que entre La Grandeza y Villa hermosa, no hay ningún elemento del suelo que los diferencie; es decir, que en este sentido son similares. Luego, entre San Andrés Chapil y Villa Hermosa, la única diferencia está en contenido de Manganeso; en las localidades de La Grandeza y San Andrés Chapil, la diferencia está establecida por el contenido de Limo.

Finalmente, al realizar un análisis multivariado de componentes principales para todos los compuestos químicos del suelo, se ha encontrado que existe diferencia significativa únicamente entre materia orgánica respecto al otro conjunto de datos.

En cuanto a las especies evaluadas, se observó que *E. berterona* se desarrolla en suelos con bajo contenido de potasio, pH, magnesio, calcio, limo e intercambio catiónico; por otro lado, se distingue que *V. apleura* se localiza en suelos altos en hierro, fósforo, zinc y saturación de bases. Para las especies *B. caudata* y *E. berterona*, en dos de las situaciones es similar al caso anterior. Luego, para las especies *F. arborens* y *P. maculata*, se desarrollan en suelos predominantemente bajos en contenidos de los elementos mencionados.

Por otro lado se analizó la adopción y difusión de los sistemas silvopastoriles (SSP), en parcelas de los ganaderos de las localidades estudiadas, en donde existen experiencias muy importantes por los altos índices de productividad que mantienen algunos productores que han implementado sistemas de ganadería durante muchos años.

En este estudio la participación y el conocimiento campesino jugaron un papel fundamental en la valoración e identificación de las especies leñosas que integran cada una de las modalidades agrofo-

restales identificadas; los campesinos conocen las especies de importancia para el sistema finca, hacen un uso diverso de ellas y son parte de su estrategia de vida como productores; así mismo reconocen que las especies arbóreas y arbustivas benefician a los animales y su entorno, evitando que éstos pierdan peso durante la época seca del año; sin embargo, se observa que tienen restricciones para hacer un uso más intensivo de este recurso, coincidiendo esta información con otros trabajos similares (Clavero y Suárez, 2006); por otro lado importantes especies de árboles forrajeros de los géneros *Erythrina*, *Bohemeria*, *Verbesina*, *Polimnia* y *fucsia* están presentes en sus áreas de producción, el aprovechamiento lo realizan marginalmente debido a que desconocen su potencial para la alimentación animal, aporte de servicios ambientales y mejoramiento de la biodiversidad, como se ha demostrado en sistemas agroforestales de otras regiones tropicales de la región (Benavides 1991).

El amplio rango altitudinal del área, implica la diversidad de especies promisorias por zona ecológica y cuentan con otras características importantes, como la persistencia de hojas durante la época seca y buena capacidad de rebrote.

Vale la pena también considerar los múltiples beneficios que proporcionan los árboles y arbustos en las unidades de producción, tales como madera y postes entre otros; se conoce que los productores que incorporan árboles en las pasturas y los utilizan para la suplementación animal, encuentran numerosas ventajas en la época seca, en las cuales el ganado no pierde peso, la producción láctea se mantiene, las ovejas, cabras y vacas aumentan la frecuencia de celo y se reduce el intervalo entre partos, la mortalidad y la incidencia de enfermedades son muy bajas; estudios realizados en América Latina reportan resultados similares (Lopez, 1985).

Por las características señaladas en este trabajo, las especies identificadas con mayor potencial constituyen un recurso útil para el diseño de sistemas silvopastoriles, cuyo aprovechamiento intensivo sugiere profundizar estudios participativos que determinen con precisión su potencial productivo, la respuesta animal y el manejo agroforestal.

La implementación de los sistemas agroforestales (SAF), se considera como una buena alternativa para el desarrollo productivo de la región, sin embargo no se ha logrado la adopción y difusión esperada en las diferentes localidades estudiadas, a pesar de los múltiples bienes y servicios ambientales que ofrecen (Murgueitio, 1999). Entre las causas principales que han limitado el desarrollo de las tecnologías generadas en SAF se pueden mencionar: la falta de educación agroforestal en instituciones de educación media y superior, limitado o insuficiente grado de extensión agrícola y baja adopción de los productores, a pesar de la gran riqueza de germoplasma en la mayoría de los árboles y arbustos que se utilizan en investigación, así como falta de mano de obra calificada, problemas de plagas y enfermedades, escaso apoyo financiero para los productores, aunado a algunas tradiciones y creencias de los campesinos; lo cual ha sido reportado en otros estudios. La evaluación de los SAF necesita de un enfoque integral, sistémico, sostenible y multidisciplinario, debido al conjunto de factores productivos involucrados, que no se pueden analizar de forma aislada considerando el nivel de complejidad que involucra el estudio de la relación suelo-planta-animal-clima-hombre.



## 6 CONCLUSIONES

---

6.1. De los resultados obtenidos, se puede afirmar que el bioclima de la microcuenca presenta un índice de continentalidad (Ic) de 2,2, índice térmico (It) y termicidad compensada (Itc) de 394, temperatura positiva (Tp) 1684 y temperatura negativa (Tn) 0, un índice ombrotérmico (Io) de 8,7; con dicha información se determina que la microcuenca se ubica en un tipo de termicidad templado con temperaturas que oscilan de 6°C a 15°C (Rivas., 2007) y temperaturas medias de 11 grados centígrados.

6.2. La clasificación de acuerdo con los tipos, subtipos y niveles de continentalidad que se reconocen, la microcuenca del río Naranjo se ubica en el tipo hiperoceánico, subtipo ultrahiperoceánico atenuado (2.2), cuyo rangos establecidos están entre 2.0 y 4.0, lo que coincide con el índice de continentalidad que está en 2.2 según los datos recabados en la microcuenca.

6.3 Al analizar los valores bromatológicos reportados por las cinco especies estudiadas se concluye que *E. berteriana* reporta el nivel más bajo de extracto libre de nitrógeno, por lo tanto los contenidos de fibra y proteína cruda son altos; de acuerdo a estos resultados, se deduce que especie es la mejor para alimentación animal, sin dejar por un lado la importancia manifiesta por *V. apleura* y *B. caudata* que también tienen contenidos bastante aceptables.

6.4. Los suelos de las localidades donde se tomaron las muestras de las leñosas forrajeras, presentaron condiciones apropiadas tanto físicas como químicas para el cultivo y desarrollo de las plantas estudiadas, pues se observó que *E. berteriana* se desarrolla en suelos con bajo contenido de potasio, pH, magnesio, calcio, limo e intercambio catiónico; *V. apleura* y *B. caudata*, se localizan en suelos altos en hierro, fósforo, zinc y saturación de bases; *F. arborensis* y *P. maculata* en suelos predominantemente bajos en contenidos de los elementos mencionados.

6.5. Las especies identificadas con mayor potencial constituyen un recurso útil para el diseño de sistemas silvopastoriles, cuyo aprovechamiento intensivo sugiere profundizar estudios participativos que determinen con precisión su potencial productivo, la respuesta animal y el manejo agroforestal.

## **7 BIBLIOGRAFÍA**

---

- Abadi, A., Lefroy, T., Cooper, D. (2003). *Probability of medium to lotorainfall agroforestry in the cropping zone*. Australia.
- Aguilar, J. (1994). *Caracterización nutricional de especies arbóreas para alimentación de rumiantes*. El Valle, Honduras: USAC.
- Aguirre, E., Gutierrez, M., Corado, L., De Leon, W., & Sinay, J. (1982). *Caracterización de especies arbóreas y arbustivas nativas con potencial para alimentación de bovinos*. Ixcan, Quiche, Guatemala: USAC.
- Araya, J., Benavides, J., Arias, R., & Ruiz, A. (1991). Identificación y Caracterización de árboles y arbustos con potencial forrajero en Puriscal, Costa Rica. *Seminario Centroamericano y del Caribe sobre agroforestería y rumiantes menores*. San Jose Costa Rica.
- Arias, R. (1987). *Experiencias sobre agroforestería para la producción animal*. Guatemala.
- Ballester, M. (2014). *Métodos de análisis de fibra y determinaciones físico químicas en cítricos para el modulo de control alimentario del ciclo formativo de dietética*. Alcoy, Alicante: Area de innovación y desarrollo, S.L.
- Bateman, J. (1970). *Nutrición animal, Manual de métodos analíticos*. Mexico, DF.
- Beer, J. B. (1980). *Alnus acuminata con pasto, curso técnicas agroforestales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Benavides, J. (1994). *Arboles y arbustos forrajeros en América Central*. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Benavides, J., & Ruiz, R. (1993). *Arboles y arbustos forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Benavides, J.; Esquivel, J.; Lozano, E. (1995). *Modulos agroforestales con cabras para la producción de leche*. Turrialba, CR: CATIE.
- Bodowski, G. (1979). *Sistemas Agroforestales en América Tropical*. San Jose Costa Rica.
- Boza, J. (1990). Sistemas de producción caprina en zonas áridas del sureste de la península Iberica. *Simposio internacional de explotación caprina en zonas áridas*. (págs. 23-35). Coquimbo; Chile: Terra Árida.
- Budowski, G. (1979). Sistemas agroforestales en América tropical. *Simposio internacional sobre las ciencias forestales y su contribución al desarrollo de la América tropical*. San Jose, Costa Rica.

- Caballero, C. y. (1993). Contribución al estudio del ganado caprino en la comarca los montes de Yébenes. *XVIII jornadas científicas de la CEOC*, (págs. 445-450). Albetete, España.
- Craswell, E. G., Henao, J., & and Viek, p. (2004). *Nutrient flows in agricultural production and international trade: Ecological and policy issues. Discussion paper and development policy, center for Development Research*. Bonn, Alemania.
- Crews, T. a. (2005). *Can the Synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems*.
- Cruz, P. (1997). *Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C4 perennial grass under field condition*.
- Dulphy & Demarquilly. (1981). *Problèmes particuliers aux silages. En: Previsión de la valeur nutritive des aliments des ruminants*.
- Emberger, L.; Martoone. (1929 & 2008). *Plantae maroccanae novae vel minus cognitae / clasificación de la aridez de martoone*. Argelia: Minerva.
- Esquivel, J., Benavides, J., Hernandez, I. V., Gonzalez, J., & Espinoza, E. (1996). Efecto de la sustitucion de concentrado con morera sobre la produccion de leche de vacas en pastoreo. *Taller Internacional, Los arboles en la produccion ganadera*. Cuba.
- Febles, G., & Simón., T. R. (1995). Consideraciones acerca de la integracion de los sistemas silvopastoriles a la ganderia tropical y subtropical. *Semkinario Científico Internacional* (págs. 25-27). La Habana, Cuba: ICA.
- Flores, O. (1993). *Caracterización y evlaución de forrajes arbóreos para alimentación de ruminantes*. Chiquimula: USAC.
- Forrester, D. L., & Bauhus, J. a. (2005). *On the Success and failure of mixed species tree plantations: lesson learend form model systems of Eucalyptus globules and Acacia mearnsil*. *For. Ecol. Managem.*
- Galai, E. (1995). Goat production system in Egypt. *Goata production system in the mediterranean Region* (págs. 161-165). Netherlands: Wageningen.
- Garriguez, R. (1983). *Sistemas agrosilvopastoriles en Puriscal*. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Gleissman, S. (1989). *Integrating tree in to agriculture. The home garden agroecosystem as an example of agroforestry in the tropics*.

- Gonzalez, J. (1996). *Evaluación de la calidad nutricional de la morera (Morus sp) fresca y ensilada con bovinos de engorde*. Turrialba Costa Rica.
- Gutteridge, R. a. (1994). *Forage tree legumes in tropical agriculture* . Walingford, UK.: CAB International.
- Hernandez, K. (1997). *Caracterización de especies arbóreas y arbustivas nativas con potencial para alimentación de bovinos en el Petén*. Petén, Guatemala: USAC.
- Hernandez, S. G. (2000). *Manejo de sistemas agrosilvopastoriles* . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ibrahim, H. (1998). *Small ruminant production techniques*. Nairobi, Kenya: ILRI Training.
- Janzen, D., & Martin, P. (1982). Neotropical anachronisms . *The Fruits the gomphotheres ate*, (págs. 19-27). Washington.
- Jegou, D., Jacques, J., & Brunshwing, G. (1993). *Consumo y digestibilidad de la materia seca y del nitrógeno del follaje de morera (Morus sp) y amapola (Hibiscus arboreus) en cabras lactantes*. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Ku-Vera, J., Ramirez, A., Jimenez, F., & Alayon, J. a. (1999). *Arboles y arbustos para la producción animal en el tropico*. Roma Italia.
- Lopez, J. (1985). *Caracterización tipológica preliminar de los sistemas agroforestales existentes en la cuenca del rio Polochic*. Guatemala: USAC.
- Marroquin, F. (1989). *Evaluación del consumo voluntario de sauco negro (Sambucus mexicanus) con rastrojo de maiz (Zea mays) y la ganancia de peso en corderos*. Quetzaltenango, Guatemala: ICTA.
- Martínez, J. (2012). *Plantas asociadas a los bosques de Abies guatemalensis del occidente de Guatemala, sub área de ciencias biológicas*. Guatemala: FAUSAC.
- Mateos, R. (1990). El ganado caprino en el noreste cacereño. *Mundo Ganadero*, 28-35.
- Medina, J., Rouyer, M. L., & Boiron, B. (1991). *Evaluación preliminar de producción de biomasa de nuevas especies de arboles en plantaciones naturales*. Zamorano, Honduras: CATIE.
- Mejicanos, G., & Ziller, J. (1990). *Evaluación de la producción de biomasa de árboles forrajeros*. Quetzaltenango, Guatemala: ICTA.

- Mendez Barrios, J. (1984). *Informe preliminar sobre forrajes tradicionales usados en el altiplano occidental de Guatemala*. Guatemala: Helvetas.
- Mendizabal, G. (1996). *Informe técnico del programa especies menores*. Quetzaltenango, Guatemala: ICTA.
- Merrick., A. y. (1987). *Agroecología Cetal*. California, USA: Berkeley.
- Meza, T., & Bonilla, H. (1990). *Areas Naturales protegidas de Costa Rica*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- Mindson, D., & Mcleod, M. (1970). The digestibility of temperate and tropical grasses. *XI Int. Grassl. Congreso.*, (págs. 719-722). Australia.
- Murgueitio. (1999). *Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Musálem, S. (2001). *Sistema agrosilvopastoriles*. Chapingo, Mexico: Division de ciencias forestales.
- Novozamsky, I., & Houba, V. (1987). *Critical evaluation of soil testing methods for methodology in soil-k, research, proc.*
- Oviedo, J. (1995). *Morera (Morus sp) en asocio con poró (Erythrina poeppigiana), como suplemento para vacas lecheras en pastoreo*. Turrialba CR: CATIE.
- Palm, C. (1995). *Contribution of Agroforestry Trees in Nutrient requeriments of intercropped plants. Agroforest Systems.*
- Pattanayak,S.K., Mercer, D. F. Sills, E. (2002). *Taking stock of agroforestry adoption studies, agrofesstry systems.*
- Peña, E., Carrion, M., & Martínez, F. (2002). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. La Habana, Cuba.
- Pezo, D., & Ibrahim, M. (1996). *Sistemas silvopastoriles. Modulo de enseñanza agroforestal, proyecto agroforestal*. Turrialba, Costa Rica: Catie/GTZ.
- Pineda, O. (1993). *La agroforestería y el desarrollo sostenible de la ganadería*. Guatemala: VSF.
- Powel, N., & Pearson, A. P. (2004). *Crtop-Livestock interactions in the West African Drylands. Review and interpretation.*
- Rivas. (2007). *Mapa geoserias y geopermeseries de vegetales de España*. España: Itinera, Geobotánica.
- Rivas-Martínez. (2007). *Mapa geoserias y geopermeseries de vegetales de España*. España: Itinera, Geobotánica.

- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Diaz, T., & Fernandez, F. (2007). *Mapa geoserias y geopermeseries de vegetales de España*. España: Itinera, Geobotánica.
- Roggero, B., & Rosales, M. (1996). Sustainable feeding system based on the use of local resources. In: Ruminant use of the fodder resources in warm climate countries. *IV th International symposium on the nutrition of herbivores*. Montpellier, France.
- Rosales, M. (1996). *Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales*. Cali, Colombia: CIPAV.
- Rubino, R. y. (1995). Goat Husbandry systems in southern Italy. *Goat Production system in the mediterranean* (págs. 68-80). Netherlands: Wageningen.
- Ruiz, R & Boira, H. (2012). *Manejo de leñosas forrajeras en la microcuenca del rio Naranjo, San Marcos, Guatemala*. Valencia, España.
- Ruiz, R. (1993). *Manejo de leñosas con potencial forrajero en el departamento de San Marcos, Guatemala*. San Marcos: ICTA.
- Ruiz, R., Benavides, J. (1996). Caracterización de especies de leñosas forrajeras en el Municipio de San Pedro Sacatepequez, San Marcos. *Seminario Internacional de Caprinos* (págs. 47-51). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala: CATIE.
- Salazar, J. (2012). *Procedimientos para realizar análisis proximal en alimentos*. Guatemala: USAC.
- Sanchez, B., Ruiz, J.L., Grande, D & López, Q. (2001). *Aproximacion al modelo de produccion orgánica de los sistemas silvopastoriles tradicionales de producción de leche en Tecpatán Chiapas, Mexico*. Tecpatan, Mexico.
- Secaira, E. (2000). *La conservacion de la naturaleza, el pueblo y movimiento Maya y las espiritualidad en Guatemala: Implicaciones para conservacionistas*. Guatemala: PROARCA-CAPAS/SUI/FCG/TNC.
- Skerman, P. (1991). *Gramineas tropicales*. Roma: FAO.
- Smith, S. (2002). *Forest carbon and local livelihoods: assesment of oportunities and policy recomendations*. Indonesia.
- Solorio, S., & Solorio, S. (2002). *Integrating fodderf trees in to animal production systems in the tropics, tropical & subtropical agroecosystem*.



- Soto Pinto, M. (1997). *La agroforesteria en Chiapas, el caso de la region de los altos: Agricultura y crisis rural., Tomo 1*. Altos de Chiapas, Mexico.
- Standley, P. (1958). *Catálogo florístico de Guatemala*. Guatemala.
- Tejon, T., R.C. de Vicente, & S.A. Pérez. (1995). La Poblacion Caprina de Mozambique. *xx Jornadas científicas de la CEOC*, (págs. 367-372). Madrid, España.
- Vallejo, M. (1994). *Características Botánicas, usos y distribución de los principales árboles y arbustos con potencial forrajero de América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Van Kessel, C. F. (1994). *Recycling of the naturally occurring, 15N in an established stand of Leucaena leucocephala*. *Soil Biochemistry*.
- Van Soest, P., & Wine, R. (1970). *Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber whit permanganate*.
- Veluk, G. F. (2010). *Restauración del paisaje forestal participativo como herramienta para la transformación del territorio y medio de vida en el altiplano del departamento de San Marcos*. Guatemala: CATIE.
- Vergara, N. (1987). Agroforestry a sustainable land use for fragile ecosystem in the humid tropics. *Agroforestry: Realities, possibilities and potentials*. (págs. 7-19). Dordrecht, NL: Gholz, H.L.
- Von Kaufmann, R. (1986). An intruction to the subhumid zone of west Africa and the ILCA subhumid zone programme. *Proceedings of the second ILCA/NAPRI Symposium Heldin Kaduna* (págs. 11-36). Nigeria: ILCA.