

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE ANGICO (*PARAPIPTADENIA RIGIDA*) Y LEUCAENA
(*LEUCAENA LEUCOCEPHALA*) COMO ESPECIES POTENCIALES A
INCLUIR EN SISTEMAS DE SILVOPASTOREO INTENSIVO**

por

Alan BENTANCOR CABRERA

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2015**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. Sergio Aguirre

Ing. Agr. Guillermo Galván

Ing. Agr. Luis Gallo

Ing. Agr. Pablo González

Fecha:

28 de diciembre de 2015

Autor:

Alan Bentancor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, familiares y amigos por el apoyo brindado a lo largo de la carrera.

Al productor rural Juan Ferrao por proporcionar su predio.

Al Ing. Agr. Sergio Aguirre por la dirección de la tesis.

A los Ing. Agr. Pablo González y Andrea González por su interés y aporte en el análisis estadístico de los resultados y en el análisis químico de las especies evaluadas.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 <u>OBJETIVOS</u>	3
1.1.1 <u>Objetivo general</u>	3
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u>	3
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 <u>SUSTENTABILIDAD Y AGROECOLOGÍA</u>	4
2.1.1 <u>Dimensiones de la agroecología</u>	7
2.1.2 <u>La agroecología y sus principios básicos</u>	8
2.1.3 <u>Biodiversificación de agroecosistemas</u>	9
2.1.3.1 <u>Importancia de diversificar los agroecosistemas</u>	10
2.1.3.2 <u>Estrategias para restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio</u>	11
2.2 <u>SISTEMAS AGROFORESTALES Y SILVOPASTORILES</u>	12
2.2.1 <u>Los sistemas silvopastoriles para la adaptación al cambio climático</u>	15
2.2.2 <u>Sistemas silvopastoriles utilizados en la región</u>	18
2.2.2.1 <u>Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido-Argentina</u>	18
2.2.2.2 <u>Experiencias en Paraná – Brasil</u>	19
2.2.2.3 <u>Sistemas silvopastoriles en Paraguay</u>	20
2.2.2.4 <u>Sistemas agroforestales y silvopastoriles en Uruguay</u>	21
2.3 <u>SISTEMAS DE SILVOPASTOREO INTENSIVO (SSI)</u>	23
2.3.1 <u>Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>) y su uso en Sistemas silvopastoriles intensivos</u>	24
2.3.1.1 <u>Beneficios económicos y ambientales de la producción con <i>Leucaena leucocephala</i></u>	26
2.3.1.2 <u>Beneficios de leucaena sobre la nutrición animal</u>	27
2.3.1.3 <u>Marcos de plantación, manejo y utilización de la leucaena</u>	28
2.3.2 <u>Angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>)</u>	29

2.3.2.1 Inoculantes para angico (<i>Parapiptadenia Rigida</i>).....	31
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	32
3.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	32
3.2 ÁREA EXPERIMENTAL	32
3.3 SUELO	34
3.3.1 <u>Historia de la parcela</u>	35
3.3.2 <u>Análisis de suelo</u>	36
3.4 MANEJO DEL CULTIVO	36
3.4.1 <u>Manejo de almácigos</u>	36
3.4.2 <u>Trasplante y marco de plantación</u>	36
3.4.3 <u>Aplicación de biofertilizante</u>	38
3.4.4 <u>Otras actividades hechas en el cultivo</u>	39
3.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL PERÍODO EXPERIMENTAL.....	39
3.6 EVALUACIONES REALIZADAS EN EL ENSAYO	42
3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL	44
3.7.1 <u>Diseño del ensayo</u>	45
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	47
4.1 OBSERVACIONES DURANTE LAS ETAPAS EVALUADAS	47
4.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	48
4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ESPECIES EVALUADAS	57
4.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	58
5. <u>CONCLUSIONES</u>	60
6. <u>RESUMEN</u>	62
7. <u>SUMMARY</u>	64
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	65

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Ubicación del suelos CONEAT	35
2. Porcentaje de suelos CONEAT perteneciente al predio en estudio..	35
3. Número de plantas por especie y origen según tipo de inoculación.....	38
4. Registro de temperaturas mínimas-medias-máximas promedios mensuales registrados en INIA Salto Grande en el período transcurrido desde agosto 2012 a abril 2013.....	40
5. Registro histórico de temperaturas mínimas-medias-máximas promedios mensuales registrados en INIA Salto Grande en el período 1970-2015	40
6. Registro de precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP) promedio, comparando el período de estudio y el registro histórico, en INIA Salto Grande.....	42
7. Diseño del ensayo con distribución de plantas	45
8. Contraste realizado con los datos promedio de las 6 mediciones de altura de las plantas del ensayo	50
9. Promedio de registro de las 6 fechas de medición en altura correspondiente al ensayo.....	51
10. Primera fecha de registro de medición en altura correspondiente a 15 de agosto de 2012	51
11. Segunda fecha de registro de medición en altura correspondiente al 21 de setiembre de 2012.....	52

12. Tercera fecha de registro de medición en altura correspondiente al 3 de noviembre de 2012	53
13. Cuarta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 15 de diciembre de 2012.....	54
14. Quinta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 26 de enero de 2013	55
15. Sexta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 1 de marzo de 2013	55
16. Composición química de las especies, angico, leucaena de Colombia y leucaena de Salto en el primer año de crecimiento (valores expresados en % de la materia seca)	57
17. Análisis químico de suelo.....	58
Figura No.	
1. Imagen satelital del predio	33
2. Vista aérea del sitio experimental	34
3. Distribución de suelos CONEAT	35
4. Zonas (bloques) del ensayo.....	44

1. INTRODUCCIÓN

Los predios que comprenden la Colonia “Presidente Oscar Diego Gestido” pertenecen al Instituto Nacional de Colonización (INC) y están ubicados a 25 km. al norte de la ciudad de Salto (García, 2014).

Esta localidad está ubicada en el cordón hortifrutícola del departamento de Salto, que representa un porcentaje relevante de la producción hortícola y citrícola del país (García, 2014).

La superficie total del área de enumeración 1504004 donde se encuentra ubicada “Colonia Gestido” es de 11808 hectáreas. Cada explotación en promedio tiene una superficie de 116 hectáreas. En el 79 % de las explotaciones son propietarios de las mismas y el 20,5 % corresponde a arrendamiento (García, 2014).

Según el censo, el 54,6 % de la superficie de la zona está ocupada por campo natural, 17,3 % frutales cítricos y los cultivos de huerta comprenden 1,8 % de la superficie. Según los ingresos, el rubro producción de carne es el más importante ya que el 35,3 % de las explotaciones lo declaran como principal forma de ingreso. Lo sigue en importancia la horticultura con 28,4 % de las explotaciones y la fruticultura con 27,5 % de las explotaciones. El 64,3 % de las personas que viven en las explotaciones tienen entre 14 y 64 años de edad, un 29,4% son menores de 14 años y un 6,3 % son mayores de 64 años. Habitan en promedio 3,87 personas por explotación y el número de trabajadores por explotación es de 3,23, correspondiendo 36 hectáreas por persona (García, 2014).

Dentro del área de enumeración, la superficie de la “Colonia Gestido” es de 2932 há. divididas en 54 fracciones de las que 5 tienen más de 100 hectáreas (García, 2014).

En el año 2010, 6 productores de la localidad antes mencionada se incorporaron al proyecto “Apoyo a las iniciativas de producción agroecológica en Colonia Oscar Gestido - Salto”, con el objetivo de levantar ciertas restricciones prediales. De acuerdo a los resultados presentados por García (2014), se encontraron distintas problemáticas a solucionar tales como la importante carga horaria de trabajo y pocos días libres, escasas actividades de formación, bajo rendimiento, bajo manejo de la diversidad espacial (policultivos, cercos vivos, entre otros) y temporal (rotaciones); y prácticas de labranza con aspectos a mejorar. Esta problemática no es ajena a ningún productor diagnosticado en el proyecto antes mencionado.

Se destaca la presencia de suelos de baja fertilidad natural y períodos en que la vegetación natural de praderas con especies herbáceas, así como las praderas cultivadas, puede verse afectada por estrés hídrico especialmente en los meses estivales. De esta manera la cantidad y calidad de forraje son afectadas negativamente perjudicando la producción de carne y leche. Debido a que en el mayor porcentaje de estas explotaciones la principal fuente de ingresos es la producción de carne, se deben buscar alternativas viables para solucionar los problemas detectados en este rubro.

Desde un enfoque agroecológico se plantea como hipótesis que se puede mejorar la producción de forraje mediante la agroforestería. Se piensa que en el marco de sistemas de silvopastoreo intensivo (una de las formas que pueden tomar los sistemas agroforestales), hay especies arbustivas que pueden adaptarse a las condiciones climáticas y edáficas locales, desarrollar un adecuado crecimiento, y brindar alimento de buena calidad para los animales en épocas del año donde la oferta forrajera puede estar afectada por estrés hídrico.

Los sistemas agroforestales dan utilidad a la tierra de forma sustentable, abarcando procesos que facilitan la reconversión productiva de la ganadería convencional pastoril. Estos sistemas permiten aumentar la captación de energía solar mediante vegetación más compleja y diversa que tiende a aumentar la productividad y la eficacia de la ganadería. Se produce una intensificación natural que genera sistemas más rentables incorporando los principios agroecológicos y como resultado incrementan la capacidad para originar bienes y servicios ecosistémicos, regenerando tierras degradadas y enfrentando las consecuencias del cambio climático (Montagnini, citado por Murgueitio et al., 2015).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el uso potencial de dos leguminosas arbóreas: leucaena (*Leucaena leucocephala*) y angico (*Parapiptadenia rigida*), como integrantes de sistemas de silvopastoreo intensivo para la Colonia Gestido.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento y la calidad de forraje de leucaena y angico, con dos variedades provenientes de orígenes distintos en cada especie, en su primer año de vida.
- Evaluar el efecto de un inoculante experimental con bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de ambas especies.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDAD Y AGROECOLOGÍA

Transcurrida la segunda guerra mundial se incorporó el modelo tecnológico denominado “Revolución Verde”, en respuesta al aumento poblacional y a la difusión de principios de producción capitalistas, el cual transformó la forma de producir alimentos. El objetivo de este modelo era subsanar los problemas de pobreza y hambre, que se entendían como resultado de niveles escasos de producción (Chiappe, 2002). Su adopción generalizada se basó en las premisas de maximización de la producción y aumento del lucro (Quiñones, 2010).

Las prácticas de la agricultura moderna están pautadas por: cultivo intensivo del suelo, monocultivo, irrigación, aplicación de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas, manipulación genética de plantas, uso intensivo de capital, producción a gran escala, alta mecanización y producción animal intensiva (Knorr y Watkins, Hansen, Gliessman, citados por Quiñones, 2010).

“A partir de la década de 1960 la Revolución Verde comenzó a producir impactos socio-ambientales; la degradación y la polución aumentaron, también la pobreza en los países del sur y en particular en las regiones rurales” (Tommasino, citado por Quiñones, 2010).

Entre los principales problemas ocasionados por la adopción sistemática de las prácticas de la agricultura convencional, se mencionan:

- La degradación del suelo que implica salinización, inundación, compactación, contaminación por agrotóxicos, pérdida de la estructura, disminución de la fertilidad y erosión.
- El agua con la finalidad de satisfacer las necesidades de riego, en algunos lugares la tasa de extracción supera las tasas de recuperación de los acuíferos y los ríos están siendo drenados perjudicando los ecosistemas acuáticos y rivereños.
- La polución ambiental producida por agroquímicos ocasiona problemas de salud a los trabajadores agrícolas, muerte de insectos benéficos, animales salvajes y contaminación de aguas profundas.

- La agricultura convencional depende de insumos externos para la producción, necesita semillas híbridas, maquinaria, agroquímicos, combustibles, muchos de ellos son generados por recursos agotables. La dependencia de estos recursos externos afecta a productores dejando regiones y países débiles frente a la falta de suministro, donde hay oscilaciones de mercado e incremento de precios.
- A lo largo de la historia agrícola la humanidad incrementó la diversidad genética de las plantas cultivadas a través del cruzamiento, la selección de variedades y la domesticación de especies silvestres. Pero la agricultura moderna redujo la utilización de esa diversidad y uniformizó el cúmulo genético de las plantas cultivadas, resultado de la adopción que tienen las variedades de alto rendimiento o con características deseadas. Esta similitud conlleva a problemas de resistencia a plagas y aumento de susceptibilidad al clima. Es fundamental que los agricultores aprecien y mantengan las variedades de semillas locales y adaptadas a sus condiciones y se promueva su uso.
- La agricultura moderna ha producido pérdida de control local sobre la producción, influyendo en la baja de unidades productivas y de productores, perdiendo las poblaciones locales el control de la producción de alimentos. La producción agrícola a gran escala, que se lleva adelante en países en desarrollo y que utilizan la tecnología que prospera en países avanzados genera como productos *commodities* que son exportados, distanciando a las comunidades locales del control de la producción de alimento.
- La desigualdad a escala global es un problema a afrontar a pesar del aumento en la cantidad de alimento producido, la hambruna es un fenómeno latente en muchos países y se acrecienta la brecha entre los ingresos de los ricos y pobres.

Por la problemática anteriormente planteada se deduce que es conveniente un cambio radical en la forma de producir (Gliessman, 2002).

Desde el pensamiento convencional predominante se postula que los problemas que prevalecen en la agricultura tales como ataque de plagas y deficiencias nutricionales en las plantas, son los que originan la baja en la productividad. En oposición a esa postura, desde la agroecología se plantea que los problemas antes mencionados solo se convierten en una limitante si el agroecosistema no está estabilizado (Carrol et al., citados por Sarandón, 2002).

“Una Agricultura Sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan” (Sarandón et al., citados por Sarandón y Flores, 2014).

Para satisfacer las necesidades de las actuales y futuras generaciones, una agricultura sustentable debe cumplir las siguientes condiciones (Sarandón y Flores, 2014):

- Suficientemente productiva, el sistema debe producir suficiente alimento para cubrir las necesidades del agricultor y su familia en primer lugar y de la humanidad en segundo lugar. Con dependencia del nivel de análisis, muchos sistemas agropecuarios no tienen como objetivo producir alimento para consumo propio, sino recibir dinero para posteriormente comprar estos alimentos. Para los sistemas de autosuficiencia, el objetivo está en que lo producido satisfaga las necesidades del agricultor y su familia, si esto no ocurre el sistema no permanecerá en el tiempo.
- Económicamente viable, para permitir al agricultor y su familia satisfacer sus necesidades.
- Ecológicamente adecuado, este punto hace referencia al cuidado del recurso para transferirlo a futuras generaciones, manteniendo y mejorando la capacidad productiva del sistema y los recursos (agua, biodiversidad, suelo), preservando el ambiente a nivel local, regional o global, como la calidad del agua, el aire, la atmósfera, etc.
- Cultural y socialmente aceptable, tanto para el agricultor, de acuerdo a sus intereses, creencias y valores, como para el resto de la sociedad.

La sustentabilidad contempla múltiples dimensiones y comprende la ejecución en un mismo momento de varios objetivos: productivo, ecológico, temporal, económico y sociocultural. Todos los objetivos tienen la misma importancia, se deben cumplir de manera simultánea y no son reemplazables entre ellos (Sarandón y Flores, 2014).

2.1.1 Dimensiones de la agroecología

La agroecología debe verse como un nuevo enfoque, que no solo ve la cuestión técnica agronómica sino que considera y relaciona la agricultura, el ambiente global y las dimensiones sociales, económicas, políticas, éticas y culturales (Caporal y Costabeber, citados por Sarandón y Flores, 2014):

- La agroecología desde la dimensión social busca una mayor equidad intra e intergeneracional, lo que se logra desarrollando una distribución más equitativa entre los beneficiarios de las generaciones actuales, sin poner en peligro el sustento de las generaciones futuras. Deben estar contempladas la producción de alimentos sanos, la seguridad y soberanía alimentaria, avanzando hacia la acción colectiva que potencie el desarrollo y mantenimiento del capital social.
- Culturalmente el aporte de la agroecología entiende que la actuación sobre los agroecosistemas debe tener en cuenta los valores y saberes locales de las poblaciones rurales. La forma de vida que cada productor/a elige se vincula con el entorno socioeconómico, cultural, sus conocimientos, intereses, su relacionamiento con la comunidad, etc.
- Desde el punto de vista ecológico la agroecología tiene el cometido de conservar y rehabilitar los recursos naturales a nivel local, regional y global empleando una visión holística y un enfoque sistémico que contemple todos los componentes del agroecosistema.
- La dimensión económica busca que se logre el beneficio que permita cubrir las necesidades económicas del productor y su familia disminuyendo los riesgos asociados a la vinculación con los mercados, los insumos o la baja diversificación en productos.
- La dimensión política se relaciona a los procesos participativos y democráticos que son llevados adelante en la producción agrícola y desarrollo rural como también en las redes de organización social y de representaciones de los distintos segmentos de la población rural (Caporal y Costabeber, citados por Sarandón y Flores, 2014).
- La dimensión ética, necesariamente comprende un nuevo vínculo moral que inserte el respeto y la preservación del medio ambiente para las actuales y futuras generaciones. Para esto hay que construir nuevos valores que reduzcan el consumo excesivo y el deterioro ambiental,

luchar contra el hambre y hacia la eliminación de la pobreza y contra los efectos negativos sobre el medio ambiente (Sarandón y Flores, 2014).

2.1.2 La agroecología y sus principios básicos

La agroecología se define como la ciencia que aplica los conceptos y principios ecológicos para construir agroecosistemas sustentables, brinda una base para evaluar la dificultad de los agroecosistemas. Su alcance trasciende el uso de prácticas alternativas, o del desarrollo de agroecosistemas con dependencia mínima de agroquímicos y subsidios energéticos, generando sistemas agrícolas complejos en los que las interacciones ecológicas y los sinergismos entre componentes biológicos subsidian la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

Los agroecosistemas son ecosistemas formulados por el hombre en los que modifica sus componentes bióticos y abióticos interactuando con su ambiente físico y químico para generar alimento, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano. La agroecología suministra los principios básicos para estudiar, diseñar, mejorar y manejar estos agroecosistemas, con el fin de mantener o mejorar su productividad y a la vez que conserven los recursos naturales (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

Un predio agrícola es un sistema complejo donde pueden ocurrir distintos procesos ecológicos como el ciclaje de nutrientes, interacciones predador-presa, competencia, simbiosis, y cambios sucesionales. La comprensión de la relación entre estos procesos ecológicos, permite que los agroecosistemas puedan ser manejados para mejorar la productividad con menor utilización de insumos externos, y disminuir al mismo tiempo los impactos ambientales y sociales negativos (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

Para diseñar tal sistema hay que basarse en los siguientes procesos ecológicos (Reinjtjes et al., citados por Sarandón, 2002).

“• Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes.

• Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo.

- *Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura.*
- *Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio.*
- *Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.”.*

2.1.3 Biodiversificación de agroecosistemas

La diversidad es una propiedad esencial de los ecosistemas. Cada ecosistema manifiesta la diversidad en consecuencia a restricciones ambientales, la historia de uso y el ciclo de perturbaciones. Los ecosistemas toleran alteraciones naturales como pueden ser vientos fuertes y fuego, que dañan su estructura y funcionamiento, y son restablecidas gracias a la recolonización de especies vegetales en la zona afectada (Sousa, citado por Bresciano, 2004).

Dependiendo de la intensidad y extensión de la alteración, determinará el tiempo de recuperación. La capacidad que tengan los ecosistemas de volver al estado anterior a la perturbación, se denomina resiliencia; a escala de tiempo humano, en general los ecosistemas son estables gracias a la capacidad de mantenerse parecidos a sí mismos en el tiempo. La transformación de los ecosistemas naturales en agroecosistemas lleva a que se pierda la biodiversidad original (Gliessman, citado por Bresciano, 2004).

Se han desarrollado estrategias para lograr la estabilidad de los sistemas de producción mediante la promoción de la biodiversidad. La diversidad genética es una de ellas, asegura en los cultivos y el ganado el mantenimiento de la protección contra las enfermedades y plagas. Además incorpora características que permitan adaptarse a condiciones ambientales estresantes como puede ser una sequía, reduciendo el riesgo de erosión genética. La diversificación incrementa la resiliencia ecológica del hábitat agrícola (Duelli, citado por Bresciano, 2004).

La diversidad específica es otra forma de incorporar diversidad a los sistemas de producción, usando variedades o especies asociadas en el tiempo y en el espacio (policultivos – rotaciones). En el caso de los policultivos, aunque

puede pensarse que la coexistencia de las especies cultivadas podría determinar la competencia entre las mismas, basándose en el principio de producción competitiva, se afirma que lo que ocurre es una competencia parcial entre dos o más cultivos, que utilizan diferentes recursos del ecosistema o el mismo recurso en diferente tiempo y espacio.

El uso de los policultivos cuenta con un importante beneficio basado en el principio de facilitación, que consta en que una especie genera cambios en el ambiente de forma que beneficia a una segunda especie o genotipo (Sarandón y Labrador Moreno, citados por Bresciano, 2004).

La diversidad ecosistémica incrementa la diversidad mediante el manejo de vegetación espontánea en bordes como en cultivos. Dicha vegetación debe manejarse sin que corra riesgo la producción por causa de competencia con el cultivo (Abril, citado por Bresciano, 2004).

En una escala temporal y espacial se define al proceso sucesional como la habilidad de la naturaleza para conseguir mayor seguridad posible frente a alteraciones, o que pueda tener la mayor autorregulación posible con el ambiente físico (Odum, citado por Sarandón y Flores, 2014).

“A medida que avanza el proceso sucesional hay un aumento de la biodiversidad que conduce a una mejor prestación de los servicios ecológicos que brinda la misma y, en consecuencia, a una mayor estabilidad y resiliencia” (Sarandón y Flores, 2014).

La diversidad funcional contribuye a la productividad del agroecosistema a través de la optimización de los procesos ecológicos que acontecen en el mismo (Nicholls, citado por Sarandón y Flores, 2014).

“El manejo agroecológico debe tratar de optimizar el reciclado de nutrientes y de materia orgánica, cerrar los flujos de energía, conservar el agua y el suelo y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales. La estrategia explota las complementariedades y sinergismos que resultan de varias combinaciones de cultivos, árboles y animales, en arreglos espaciales y temporales diversos” (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

2.1.3.1 Importancia de diversificar los agroecosistemas

- Cuando la diversidad se amplía, las oportunidades para la coexistencia e interacción benéfica entre las especies también lo hacen y de esta

manera mejora la sustentabilidad y el uso de los recursos de los agroecosistemas.

- Las heterogeneidades del hábitat favorecen la adaptación y complementariedad de los cultivos, la diversificación de los nichos y la distribución de los recursos.
- La unión de varios elementos como por ejemplo de diversos cultivos puede originar distintos microclimas dentro de los sistemas de cultivos que pueden ser ocupados por organismos tales como predadores benéficos, parasitoides, polinizadores, fauna del suelo y antagonistas de importancia para el sistema.
- La diversificación en el suelo permite el reciclaje de nutrientes y la detoxificación de sustancias químicas tóxicas regulando también el crecimiento de las plantas.
- La diversificación productiva de los agricultores reduce sus riesgos básicamente en áreas marginales con condiciones ambientales poco predecibles, pero si un cultivo no funciona productiva o económicamente puede ser sustituido por otros (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

2.1.3.2 Estrategias para restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio

En la agricultura sustentable es de vital importancia la restauración de la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio mediante el uso de rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, intercultivos, mezcla de cultivos/ganado, agroforestería, etc. (Altieri, 1999).

La rotación de cultivos se basa en intercalar en un mismo lugar durante diferentes ciclos, plantas de distintas familias que requieran diferentes tipos y cantidades de nutrientes. De esta manera se previene que el suelo se agote y permite que las enfermedades, plagas y malezas no perduren en el tiempo (Sumner, citado por Sarandón, 2002).

Con la planificación de rotación de suelos donde se integren leguminosas y animales va a lograrse el reciclaje de nutrientes al sistema (Altieri, citado por Sarandón, 2002). La integración animal en el agroecosistema ayuda a alcanzar una alta producción de biomasa y un reciclaje óptimo (Pearson y Ison, citados por Sarandón, 2002).

La incorporación de materia orgánica al suelo, ya sea en forma de estiércol animal o compostaje, va a causar que aumente la actividad biológica (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

Los policultivos son sistemas de cultivo complejos en los cuales dos o más especies se siembran y cosechan con suficiente cercanía espacial que resulta en una competencia o complemento, incrementando los rendimientos (Vandermeer, citado por Sarandón, 2002).

El implante de cultivo de cobertura en forma pura o mezcla principalmente debajo de especies frutales perennes, contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, incrementar el control biológico de plagas y cambiar el microclima del huerto (Finch y Sharp, citados por Sarandón, 2002). Preservar la actividad biológica de los enemigos naturales y antagonistas es vital para que estos controlen a las plagas (Altieri, citado por Sarandón, 2002).

Otra forma de diversificar puede ser importante fuera del cultivo, como es el caso en bordes de cultivos con cortavientos, cinturones de protección y cercos vivos, los cuales contribuyen a mejorar el hábitat para la vida silvestre, suministrar fuente de madera, materia orgánica, recurso para abejas polinizadoras y además modificar la velocidad del viento y el microclima (Altieri y Letourneau, citados por Altieri, 1999).

La utilización de sistemas agroforestales permite un uso más eficiente de la tierra integrando árboles al sistema de agricultura y ganadería. Donde los mismos proporcionan aumento de protección y productividad y mantienen la sustentabilidad del sistema (Nair, citado por Sarandón, 2002).

2.2 SISTEMAS AGROFORESTALES Y SILVOPASTORILES

Entre los años 2000 y 2005 la deforestación en el mundo fue de aproximadamente 13 millones de hectáreas por año. Esa pérdida anual se redujo en 7,3 millones de hectáreas en el año 2009, debido a nuevas plantaciones forestales y procesos de restauración de bosques naturales (Naciones Unidas, citado por Murgueitio et al., 2010).

Los modelos de intensificación agrícola basados en altos usos de insumos, no solo han fomentado la deforestación tropical, sino que además no han logrado garantizar la soberanía alimentaria (Grau et al., Fitzherbert et al., citados por Murgueitio et al., 2010). En el presente comenzamos a contemplar las ventajas productivas, ecológicas y sociales de sistemas agrícolas a menor

escala, menos intensivos y más sostenibles y su potencial para proporcionar seguridad alimentaria (Harvey et al., Herrero et al., Perfecto y Vandermeer, citados por Murgueitio et al., 2010).

Entre esos sistemas agrarios alternativos, la agroforestería hace un uso integrado de la tierra que se adecua específicamente a las zonas marginales y a los sistemas de baja utilización de insumos. La mayoría de los sistemas agroforestales tienen como objetivo optimizar los beneficios de las interacciones entre los componentes boscosos con el componente animal o cultivo. De esta manera se logra un patrón productivo comparable al obtenido con los mismos recursos en condiciones de monocultivo, dadas las circunstancias económicas, ecológicas y sociales predominantes (Nair, citado por Farrel y Altieri, 1999).

Los sistemas agroforestales mejoran la sustentabilidad en los sistemas de producción, a través de la combinación de diferentes especies vegetales, favoreciendo el reciclaje de nutrientes a través de la descomposición de los restos vegetales, la diversidad de microorganismos y el control biológico. Estos sistemas aportan ganancias directas e indirectas para el productor a la vez que disminuyen el uso de insumos, obteniendo madera, frutos y otros productos, y favoreciendo la biodiversidad. Aportan sombra, abrigo, alimento y energía que son claves en la prosperidad de la producción agrícola (Mcneely y Schroth, citados por Gonzatto, 2009).

En cuanto a la estructura los sistemas agroforestales pueden clasificarse de la siguiente manera (Farrel y Altieri, 1999):

- La agrosilvicultura, donde el uso de la tierra para la producción secuencial se da en combinación entre cultivos agrícolas y cultivos boscosos.
- Los sistemas silvopastoriles, que producen en los bosques derivados tales como madera, alimento y forraje, como también la cría de animales domésticos.
- En los sistemas agrosilvopastoriles, la tierra es utilizada para producir cultivos forestales y agrícolas y para criar animales domésticos.
- En los sistemas de producción forestal de multipropósito, las especies forestales se regeneran y manejan para que la producción no solo sea de madera, sino también de hojas y/o frutos que alimentan y proporcionan forraje.

- Existen además otros sistemas agroforestales, tales como la apicultura con árboles, lotes de árboles de multipropósito, etc.

Las opciones de manejo agroforestal son varias, en las cuales están presentes los cultivos en hilera en áreas de alto potencial, la siembra en contorno, los bancos de forraje para corte y para pastoreo, mejoramientos con árboles frutales, bordes y cercos vivos, cultivo intercalado o combinado, plantaciones de árboles domésticos/industriales en estratos múltiples, plantación de árboles alrededor de canales de riego y embalses, desmalezaje selectivo y plantación de bosquetes para leña y postes (Farrel y Altieri, 1999).

Se define a los sistemas silvopastoriles como: *“...combinaciones intencionales de árboles, pasturas y ganadería, en una misma área, este sistema presenta gran potencial de beneficios económicos y ambientales, los árboles pueden servir como rompevientos, reducen la erosión, diversifican la producción y mejoran el confort térmico de los animales”* (Frank y Furtado, citados por Gonçalves et al., 2011).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una alternativa recomendable a las pasturas tradicionales para el ganado, y comprenden diferentes arreglos agroforestales que combinan plantas forrajeras, tales como pastura y hierbas leguminosas, con arbustos y árboles para la alimentación animal y usos complementarios (Murgueitio y Ibrahim, Calle, citados por Murgueitio et al., 2010). Al unir árboles y pasturas en un mismo sistema esto lleva al beneficio de retener el suelo y el agua disminuyendo la erosión y proteger las cuencas de la contaminación por nutrientes (Ibrahim et al., citados por Murgueitio et al., 2010). Los SSP son productivos durante más largos períodos de tiempo que las pasturas convencionales, por lo que se reduce la presión por deforestar más bosques (Steinfeld et al., citados por Murgueitio et al., 2010).

Los árboles en los SSP proporcionan beneficios directos como madera aserrada, madera para pulpa, leña, postes, así como no maderables que son utilizados como plantas ornamentales, frutales, florales y distintos órganos de la planta que pueden ser usados como medicinales y forraje verde para la alimentación del ganado (Bellefontaine et al., citados por Murgueitio et al., 2010).

Los árboles son utilizados para el mantenimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo a través de la fijación biológica de nutrientes (Bryan, Dulormne et al., Teklehaimanot y Mmolotsi, citados por Murgueitio et al., 2010) y la absorción de nutrientes en horizontes profundos (McPherson, Scholes y Archer, Nair et al., citados por Murgueitio et al., 2010). Los residuos son

reutilizados, aportan nutrientes al suelo (Menezes et al., citados por Murgueitio et al., 2010), y mantienen la materia orgánica que es el soporte para las redes tróficas (Young, Montagnini et al., citados por Murgueitio et al., 2010). Se obtienen mejoras en las condiciones físicas del suelo a causa del sistema radicular que contrarresta la compactación (Ayres et al., citados por Murgueitio et al., 2010).

Estos sistemas son variables en cuanto a los objetivos de producción de cada productor, quien puede preferir el engorde de ganado, cría o producción de madera (Machado et al., citados por Gonçalves et al., 2011). A través de la interacción entre ganado y pastura en el silvopastoreo, se recuperan pasturas degradadas, se reduce la aplicación de productos químicos, se controlan plantas invasoras, se obtiene diversidad de productos y mayores rendimientos por área, se mejoran las cualidades químicas, físicas y biológicas del suelo y aumenta su potencial productivo (Paes, citado por Gonçalves et al., 2011).

Además, este sistema aporta a la sustentabilidad, ya que su aplicación procura alcanzar de manera integrada objetivos productivos, económicos, sociales y ambientales (Ribaski, citado por Gonçalves et al., 2011). Desde el punto de vista ambiental y respecto a los monocultivos, estos sistemas reducen las plagas de diferentes especies cultivadas, reducen la erosión del suelo y aumentan la diversidad. En lo social, promueven una distribución más uniforme de la renta, producen alimentos y generan empleo, directa e indirectamente (Machado et al., citados por Gonçalves et al., 2011). Se producen aumentos en la producción de forraje y sombra. Diferentes estudios muestran que la utilización moderada de árboles para sombra contribuye significativamente para la sustentabilidad de ciertas especies de pasturas. Esto permite que los animales al alimentarse elijan más de una especie, y de esta forma se alarga el período de crecimiento de gramíneas por la mayor retención de agua (Paciullo et al., citados por Gonçalves et al., 2011).

2.2.1 Los sistemas silvopastoriles para la adaptación al cambio climático

El cambio climático es el principal desafío que tiene la humanidad, el cual es causado por los aumentos de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, los que atrapan energía solar que ingresa a la atmósfera. Si no estuvieran estos gases, la temperatura media del planeta sería muy baja, pero su acumulación excesiva causa problemas que pueden producir desestabilización en el sistema climático. La adaptación es necesaria para enfrentar los impactos del cambio climático causados por los gases de efecto

invernadero ocurridos en el pasado. La mitigación de los gases favorecerá a que el problema no se acreciente, pero no nos salvará de los gases de efecto invernadero ya expulsados. La mitigación y adaptación son estrategias adicionales e imprescindibles desde el punto de vista de los ecosistemas y la sociedad (Oyhantçabal, 2008).

El cambio climático traerá para Uruguay principalmente consecuencias negativas, que se observarán en el sector agropecuario donde la producción es dependiente del clima. Trabajos hechos por INIA.GRAS y la Universidad de la República muestran que la temperatura media creció 0,8 °C en el siglo pasado y aumentaron las precipitaciones medias en el entorno del 30 %. Este aumento en las precipitaciones medias, no significa que no haya períodos de déficit hídrico más frecuentes e intensos. En las próximas décadas se esperan cambios en la cantidad, intensidad y distribución intra-anual e interanual de las lluvias. Las temperaturas medias aumentarán junto a la frecuencia de los eventos térmicos extremos, que afectarán al ganado por estrés térmico y a los cultivos en etapas fenológicas vulnerables. Habrá aumento en los niveles de CO₂ y eventos climáticos extremos. Los cambios ocurridos en las temperaturas y en las precipitaciones medias pueden producir beneficios para algunos rubros, ya que se espera que los inviernos sean con temperaturas medias más altas, períodos libres de heladas más prolongadas y veranos más cálidos. Es esperable que llueva más, pero con probabilidad de que esas lluvias sean con distribución más despareja. Esto producirá mayores sequías, fundamentalmente en suelos superficiales (como los suelos sobre basalto), donde la capacidad de retener agua es menor y donde está la mayor zona ganadera del país (Oyhantçabal, 2008).

La sombra proporcionada por los árboles en los sistemas silvopastoriles (SSP) contribuye como medida de adaptación al cambio climático. La temperatura del aire debajo del dosel arbóreo puede disminuir de 2 a 5 °C en comparación con la temperatura del ambiente sin árboles (Murgueitio et al., citados por Montagnini, 2015). Otro importante efecto es la mitigación al cambio climático por la captura del carbono tanto por arriba como por debajo de la tierra, con ventajas tales como aumentar la productividad en el corto y largo plazo, beneficia la biodiversidad y provee beneficios sociales y económicos al productor. Además, al amortiguar los extremos de temperatura bajo el dosel de los árboles, los SSP aportan resiliencia para la adaptación a la variabilidad del clima (Murgueitio et al., Montagnini et al., citados por Montagnini, 2015). Hay técnicas que aumentan la toma y conservación de carbono orgánico del suelo (COS) y previenen la erosión, semejantes a las utilizadas en agricultura alternativa en sistemas orgánicos y en sistemas agroforestales (SAF), que

presentan efectos positivos sobre la mitigación del cambio climático (Lal, citado por Montagnini, 2015).

Estimaciones del COS acumulado por los SAF brindan valores de 30 a 300 Mg C/há. en trabajos hechos hasta 1 m. de profundidad en el suelo. Los valores en SSP en regiones templadas son de 6,9 a 24,2 Mg C/há., estos valores dependen de la profundidad de muestreo de suelo y de los métodos utilizados para el análisis (Nair et al., citados por Montagnini, 2015). Con distintas prácticas de manejo de suelo en los SAF se logra acumular carbono, las que están orientadas a: a) disminuir la temperatura del suelo usando mulch o sombra, b) aumentar la fertilidad con especies fijadoras de nitrógeno y c) obtener mejor aireación con menores perturbaciones y labranzas (Montagnini, 2015).

Con el uso de sistemas silvopastoriles que combinen gramíneas y árboles adaptados, se alcanzan satisfactorias producciones de leche y carne, además contribuyen a la disminución de las afectaciones del cambio climático. Utilizar plantas forrajeras arbóreas brinda alto valor nutricional y bien empleadas pueden mitigar el cambio climático, aumentan la digestibilidad por los altos valores de proteína cruda que poseen y baja la producción de metano del rumen (Milera, 2013).

La producción ganadera brinda aproximadamente el 30 % de proteína consumida por los humanos, y utiliza el mismo porcentaje de tierra mundial y contribuye al bienestar de 1,3 mil millones de habitantes de zonas rurales pobres. Al mismo tiempo, a nivel mundial entre el 18 a 20 % de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) son producidas por la ganadería (Steinfeld et al., citados por Montagnini, 2015). En América Latina, la ganadería origina entre 58 a 70 % de las emisiones de GEI totales de la agricultura (World Bank, citado por Montagnini, 2015). El 40 % de los GEI producidos por la ganadería provienen de la fermentación entérica donde emiten metano y óxido nitroso. El metano como el óxido nitroso tienen mayor efecto en calentar la atmósfera (GEI), 23 y 296 veces respectivamente mayores que el dióxido de carbono (Steinfeld et al., citados por Montagnini, 2015). Con las situaciones antes planteadas y para mitigar esos efectos, se deben buscar estrategias de alimentación de ganado para disminuir las emisiones de GEI. Para ello se pueden suministrar alimentos de buen valor nutritivo que disminuyan esas emisiones, que son muy elevadas en los forrajes de baja digestibilidad. Las emisiones de metano pueden ser 15 a 18 % mayores en estación seca, a causa de que el forraje baja su valor nutritivo. Si el ganado fuera alimentado con buen forraje, e incorporara leguminosas en la dieta que contenga taninos condensados (por ejemplo lotus spp. o leucaena), puede disminuir la emisión de

metano en 12 a 15 % y a su vez obtener mejor productividad (Waghorn, Barahona et al., citados por Montagnini, 2015).

Los manejos mencionados van dirigidos hacia nuevas formas de agricultura alternativa, permiten una menor inversión en importaciones y mayor calidad de la producción para la salud humana (Milera, 2013).

2.2.2 Sistemas silvopastoriles utilizados en la región

2.2.2.1 Sistema silvopastoril en el Chaco Árido – Argentina

En ecosistemas secos el agua y los nutrientes son limitantes de los procesos biológicos. La estructura de los bosques estratificados permite en esta zona utilizar eficientemente los recursos aéreos y subterráneos, lo que genera una gran variedad de hábitat que favorece la biodiversidad. Esto produce sistemas heterogéneos en cuanto a composición florística, fenología, productividad y distribución de biomasa de las especies, lo que lleva a mostrar mayor estabilidad y resiliencia (Carranza y Ledesma, 2005).

En Argentina hay tendencia a deforestar las regiones áridas para transformarlas en pasturas y por ende alimentar ganado para producir carne. Este negocio da rédito económico pero desestabiliza el sistema, ya que se produce una pérdida de biodiversidad, y se generan agroecosistemas, demandantes de subsidios energéticos que son utilizados para su funcionamiento, lo cual agrega incertidumbre económica sobre el riesgo ambiental, cuanto más árido sea el ambiente más frágil es la sostenibilidad del sistema. En esta zona se registran precipitaciones anuales medias que van desde 350 mm. a 500 mm., produciendo déficit hídrico anual entre 500 y 800 mm. A partir del ecosistema natural de bosque y con desmontes selectivos se construyen sistemas silvopastoriles de dos estratos, formados por árboles y pasturas. Mediante esta combinación se pretende mayor producción biológica del sistema hacia los componentes económicamente más productivos, resguardando la mayoría de los beneficios que aporta el sistema multiestrato para su funcionamiento y estabilidad (Carranza y Ledesma, 2005).

Las pérdidas de humedad de las pasturas llegan a triplicarse si se encuentran por fuera de la canopia de los árboles. Es un factor ecológico importante, ya que los árboles cubren el suelo de precipitaciones intensas, mantienen la humedad, hay importante infiltración que está relacionada a mejor estructura del suelo bajo la canopia (Carranza y Ledesma, 2005).

Bajo las copas de los árboles se observa mayor actividad biológica que en los interespacios debido a que hay mayor presencia de mantillo. En la región árida varios trabajos demuestran que hay mayor fertilidad de suelo bajo el área de influencia de la canopia por haber mayor cantidad de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y también incrementa la capacidad de intercambio catiónico. Con respecto a la estructura de suelo, ésta resulta mejor bajo el dosel arbóreo, lo cual se ha atribuido a la calidad del espesor de árboles leñosos y a las condiciones microambientales bajo la canopia (Carranza y Ledesma, 2005).

El pastoreo del ganado modifica la estructura vegetal y la distribución, si se realizan pastoreos con adecuados manejos es posible hacer predominar las especies forrajeras más preciadas que hacen a la sostenibilidad del sistema (Carranza y Ledesma, 2005).

Para esas condiciones agroecológicas, Carranza y Ledesma (2005) concluyen que la presencia de árboles es fundamental para el ciclo de nutrientes y para la estructura del suelo. Los árboles y las pasturas compiten por los recursos, pero la interacción de las variables que influyen sobre la producción hace prevalecer relaciones de facilitación.

2.2.2.2 Experiencias en Paraná – Brasil

En la región Noreste de Paraná este sistema ha sido adoptado por algunos productores, los cuales destacan como beneficios que las forrajeras permanecen verdes en invierno, y no sufren estrés hídrico y térmico en dicha región. Las especies arbóreas más recomendadas para silvopastoreo son grevilea (*Grevillea robusta*), sibipiruna (*Caesalpinea pluviosa*), inga (*Inga sessilis*), canafistula (*Peltophorun dubium*), angico (*Parapiptadenia rigida*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), y varias especies de los géneros eucalyptus y pinus (Montoya et al., citados por Gonçalves et al., 2011).

El ganado bovino muestra sensibilidad a altas temperaturas y a la humedad. La sombra que brindan los árboles amortigua y favorece el bienestar animal. La sombra mejora la producción, debido a que mejora la conversión de alimento y la sobrevivencia de los animales (Nicodemo et al., citados por Gonçalves et al., 2011).

“Experimentos realizados con vacas de raza Holandesa, mostraron aumentos de la producción de leche y mejor tenor porcentual de sólidos grasos, concluyendo que animales especializados en lactación serían los más

afectados en ausencia de sombra” (Nicodemo et al., citados por Gonçalves et al., 2011).

Hay impedimentos que dificultan la implementación de este sistema, como son la falta de conocimiento por parte de los productores, y la falsa creencia de que la sombra que aportan los árboles disminuye el tiempo de pastoreo y aumenta el tiempo dedicado al ocio (Dias-Filho et al., citados por Gonçalves et al., 2011).

2.2.2.3 Sistemas silvopastoriles en Paraguay

Entre distintas alternativas de sistemas agroforestales, el bosque nativo puede ser manejado en combinación con pasturas. Con este sistema se diversifica la producción con el objetivo de obtener carne, leche, madera y leña, haciendo un buen aprovechamiento del espacio. Es muy importante que los animales estén protegidos bajo media sombra. Con los bosques de refugio para los animales, estos también aportan madera y leña para la familia (PMRN, 2007).

Para transformar el bosque en manejo silvopastoril se realiza la limpieza selectiva del espacio dejando 100 a 150 especies forestales/ha., entre las que se destacan árboles frutales nativos y especies maderables de alto valor. Con este manejo se logran distintos estratos con especies con diferentes clases diametrales. Este sistema muestra ventajas tales como protección para el ganado en verano e invierno y proporciona un microclima favorable para el buen crecimiento del forraje. La metodología para plantar la pastura es abrir surcos angostos en el mantillo cada un metro y se realiza la siembra (PMRN, 2007).

En la alimentación animal se destaca la leucaena como buen forraje alternativo por su aporte de proteínas. Puede ser sembrada alrededor de la casa, en chacras como forraje para corte o en manchones para que los animales se alimenten mediante ramoneo. Puede ser sembrada con matraca espaciada a 0,3 m. entre plantas y un metro entre hileras. Requiere 2,5 kg./há. de semilla. Es importante mantener la plantación limpia, en los primeros meses la leucaena es sensible al enmalezamiento y en su primer año de vida es muy tierna para el ramoneo, lo que perjudicaría su recuperación si se incorporan animales en esa etapa. Recomiendan utilizarla en el segundo año, para alimentar el ganado en pastoreo directo o como corte. La leucaena mal manejada se puede convertir en maleza, se aconseja antes de la maduración y dispersión de las semillas podar las plantas para evitar la abundante producción

y distribución de semillas. Los animales alimentados con leucaena pueden aumentar su peso, y la producción de leche puede incrementarse 2 litros por día por vaca (PMRN, 2007).

2.2.2.4 Sistemas agroforestales y silvopastoriles en Uruguay

En Uruguay *“la vegetación que predomina es denominada “campo”, o “pradera” o “sabana”, que parecería ser homogénea, pero esto dista mucho de la realidad ya que esta zona resulta de transición con otras comunidades y está verdaderamente representada principalmente por la pradera, donde abundan además los elementos arbóreos y arbustivos, formando bosques de diferente fisonomía, composición y localización, ausentes en las primeras”* (Izaguirre, 2005).

Uruguay presenta características agroecológicas para implementar prácticas agroforestales y desempeñar de buena forma la producción y el manejo silvopastoril (Polla, 1999). Aprovechando estas ventajas, tradicionalmente las plantaciones forestales se han realizado con eucaliptus en sistemas pastoriles con varios objetivos: producción ganadera, generador de madera, sombra y abrigo. A fines del siglo pasado, de la mano de grandes empresas, la ganadería se ha ido integrando paulatinamente a los sistemas forestales (Olmos et al., 2011). Se ha trabajado en producción mixta integrando tres componentes árbol-animal-pastura y cultivo-árbol-animal, procurando su sustentabilidad en el tiempo. Con este mecanismo los sistemas son más rentables, de menor riesgo ambiental y económico, más productivos y de mayor desarrollo social (Polla, 1999).

Los modelos agroforestales más utilizados en el país son (Polla, 1999):

- Pastorear el ganado bajo montes naturales.
- Pastorear en pasturas naturales asociado a montes de abrigo del tipo de isla.
- Pastorear el campo natural utilizando árboles que sirvan como cortina rompevientos.
- Proteger los montes frutales con hileras de árboles de los géneros casuarina, cupressus, eucalyptus y pinus.
- Producción apícola asociada a montes de eucaliptus y a praderas.

La densidad de árboles tiene influencia directa sobre las pasturas en cuanto a su evolución, digestibilidad y producción de materia seca. Tiene que existir un determinado número y arreglo espacial de árboles que permitan dejar energía solar disponible hacia las pasturas, para que aumente la producción de forraje para el ganado (Polla, 1999).

Según Polla (1999), en nuestro país la producción silvopastoril está asociada al manejo del monte para la producción de madera de calidad. El componente pasto o cultivo lleva a que aumente la productividad global del sistema, como por ejemplo el mejoramiento que se logra incorporando especies leguminosas. La combinación de producción animal, forestal y forrajera puede coexistir en forma espacial y/o temporal de manera sostenible y sustentable en el tiempo de acuerdo al nuevo concepto de sustentabilidad que hoy se maneja.

El silvopastoreo incluye a la ganadería de pastoreo e impulsa a ejecutar un manejo integrado de recurso animal, forestal y pastoril buscando la sustentabilidad individual de cada recurso y del sistema en su conjunto. Los ingresos son escalonados en el tiempo, mientras la unidad productiva se capitaliza en el tiempo a través del recurso forestal. El recurso forestal introducido en el predio produce un aumento significativo del sistema que se hace efectivo al final del turno (Polla, 1999).

De acuerdo con trabajos realizados sobre suelos arenosos de la unidad Tacuarembó, estos suelos de la región son propicios para la producción de árboles y su integración y adaptación a los sistemas agroforestales (Olmos et al., 2011).

Generalmente el implante de pasturas y cultivos entre filas de montes forestales se da a partir del segundo o tercer año de trasplantado el monte, independientemente de la densidad y la distribución de éstos en la implantación de sistemas agroforestales (Olmos et al., 2011).

Los rubros tradicionales ganaderos se han ido integrando paulatinamente a los sistemas forestales (Sanz et al., citados por Olmos et al., 2011), a través de pastoreo en franjas, pastoreo en corta fuegos y posteriormente distribuido en el resto del área. No se han introducido con tanto éxito a estos sistemas, los cultivos agrícolas graníferos, forrajeros u hortícolas (Olmos et al., 2011).

2.3 SISTEMAS DE SILVOPASTOREO INTENSIVO (SSI)

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSI) están dentro de la clasificación de SSP y son utilizados en la producción animal. En dichos sistemas se integran arbustos forrajeros plantados en altas densidades, más de 10000 plantas/ha., combinados con pastos de alta productividad que pueden ser pastoreados directamente por el ganado. El concepto de intensivo en estos sistemas no está dado por el uso de capital, mano de obra o insumos químicos, sino que se focaliza en los procesos biológicos como la fotosíntesis, la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización del fósforo del suelo y la mejora de la actividad biológica del suelo. En este caso, las "entradas" del sistema son los propios procesos naturales (Murgueitio et al., 2010).

Los SSI de Colombia han sido exitosos en la producción de leche y carne durante dos décadas y aún no muestran decadencia en el potencial de pastoreo (Molina et al., citados por Murgueitio et al., 2010). En estos SSI la clave del éxito está en la adecuada selección de las especies a introducir, que deben adaptarse a las condiciones agroecológicas del lugar. Los beneficios directos que proporcionan los SSI a la productividad agrícola son muchos. Estos sistemas con la presencia de leguminosas y su aporte por la fijación biológica de nitrógeno eliminan la dependencia de los fertilizantes nitrogenados, aumenta la producción de árboles maderables en cortavientos, presentan alta tolerancia a períodos secos entre tres y cinco meses, hay rápido crecimiento entre los arbustos y gramíneas con alta producción de materia seca de buena calidad para el consumo animal, esto lleva a poder aumentar la carga animal. Si la alimentación es abundante y de buena calidad va a incrementarse la tasa reproductiva del ganado así como obtener mayor producción de leche y carne. Si analizamos la producción de leche, esta se ve afectada positivamente debido al aumento de sólidos totales como proteína y grasa de la leche, parámetros claves en la calidad de la leche y que son premiados por la industria. Los SSI crean las condiciones necesarias para lograr buenas prácticas agrícolas y la certificación de la producción ecológica para los nuevos mercados de la carne y leche. En cuanto al bienestar animal hay reducción significativa en el estrés térmico de los animales (Murgueitio et al., 2010).

La erosión del suelo superficial es minimizada por la cubierta vegetal permanente y completa. A esto se suma la disminución de la compactación del suelo debido a la presencia de un sistema radicular profundo y complejo combinado con etapas de pastoreo reducido y extenso reposo. Se protege al recurso agua como consecuencia de una mayor conciencia por parte de los productores dándole un manejo adecuado. Mejora el proceso de regulación

hidrológica, ya que el agua infiltra de mejor forma debido al efecto de las raíces de los arbustos en el perfil del suelo (Murgueitio et al., 2010).

“Los Sistemas Silvopastoriles (SSPs) proveen a los animales una dieta rica en proteína, por ello la implementación de estos sistemas se convierte en una ventaja. Las leguminosas usadas para dichos sistemas pasan de los 18 % de proteína y se puede alcanzar ganancias de peso en zonas tropicales hasta de 800 g./animal/día en bovinos, y un incremento de hasta dos litros de leche por vaca/día y en el caso de ovinos ganancias de peso de 106 g./día” (Wencomo, citado por Barros et al., 2012).

Las leguminosas arbóreas establecen simbiosis con bacterias, dando como resultado la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBN), que brinda buenos resultados económicos y ecológicos debido a la eliminación (total o parcial) de aplicación de fertilizantes nitrogenados cuya producción exige grandes requerimientos energéticos (Macedo y Koller, citados por Balieiro et al., s.f.). Si la simbiosis funciona correctamente, disminuye la polución y pérdida de fertilizantes nitrogenados (Siqueira y Franco, Franco y Balieiro, citados por Balieiro et al., s.f.). Muchas especies de leguminosas tropicales también presentan asociación simbiótica a hongos micorrízicos arbusculares (Siqueira, citado por Balieiro et al., s.f.). Por esto las plantas adquieren mayor capacidad de absorción de nutrientes volviéndose más tolerantes al estrés ambiental (Awotoye et al., Santos et al., Souza et al., Franco et al., citados por Balieiro et al., s.f.).

2.3.1 Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y su uso en sistemas silvopastoriles intensivos

De las especies probadas en los SSI se destaca *Leucaena leucocephala*. Con origen en centroamérica, la leucaena ya era utilizada por pequeños productores para alimentar el ganado en Indonesia en la década de 1930. Los ganaderos australianos fueron los pioneros en plantar cultivos comerciales de leucaena en la década de 1970. En el norte de dicho país se planta leucaena combinado con gramíneas de alta producción para el pastoreo de ganado (Shelton, citado por Murgueitio et al., 2010). Presenta utilidades como forraje, abonos verdes, leña, carbón, celulosa y madera dependiendo de las distintas variedades. El género leucaena está compuesto aproximadamente por 50 especies forrajeras con amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales (Parotta, 1992). Se ha diversificado de gran forma debido a sus cruzamientos, en los que por mejoramiento se hicieron híbridos interespecíficos bien adaptados y de buena producción de alimento. *Leucaena leucocephala* es

la especie más utilizada como árbol de pastoreo para mejorar la producción de rumiantes en condiciones semiextensivas. Esta especie ha sido estudiada en el último medio siglo de forma muy intensa en diferentes condiciones de suelo, originando tecnologías apropiadas para su manejo desde la siembra en vivero hasta el aprovechamiento con animales (Clavero, citado por García et al., 2008).

García et al. (2008), realizaron un trabajo donde caracterizaron diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* probando la composición química y la degradación ruminal. Dentro de esta caracterización se estudió el cultivar Cunningham por ser uno de los cultivares más conocidos para sistemas silvopastoriles. Es una variedad de porte arbóreo-arbustivo que suele medir hasta 5 metros de altura (Simón, citado por García et al., 2008). Se concluyó que la biomasa comestible del cultivar Cunningham fue una de las mejores alternativas para la alimentación de rumiantes. Se destacó bajo contenido de taninos y mimosina y alta degradabilidad ruminal, aspectos convenientes para uso intensivo en sistemas de alimentación animal (García et al., 2008).

La mimosina es un aminoácido libre no proteico que proporciona resistencia a las plantas sobre muchos agentes fitopatógenos (Serrano et al., citados por Barros et al., 2012). En los rumiantes que consumen dietas elevadas de *Leucaena leucocephala* produce toxicidad y los signos que muestran son alopecia, anorexia, pérdida de peso, salivación profusa, lesiones a través de esófago, papilas necróticas en rumen y retículo, hiperplasia de la glándula tiroides y bajos niveles de hormona tiroxina T4 circulante. La toxicosis puede ser aguda o crónica y llevar a la muerte del animal. Disminuyen los índices reproductivos afectando la mortalidad embrionaria precoz y la muerte perinatal (Hammond, citado por Barros et al., 2012).

Según Franco y Souto (1986), la mimosina es una toxina que provoca la caída de pelos de los animales cuando es abastecida por encima del 50 % de la dieta de forma permanente por períodos largos, principalmente en no rumiantes o en rumiantes no adaptados a su consumo.

El esplendor de su productividad se da en regiones tropicales en suelos de pH neutro y con precipitaciones entre 600 y 1700 mm., aunque con precipitaciones de solo 250 mm. puede dominar el área. Su adaptabilidad la lleva a tener buena producción en suelos de pH en el entorno de 5 (NAS, citado por Franco y Souto, 1986).

Como leucaena es una planta tropical, su crecimiento es afectado por temperaturas inferiores a 15–20 °C (Cooksley et al., Mullen et al., citados por

Shelton y Dalzell, 2007). Heladas ligeras que se dan entre 0 °C a -3 °C matan las hojas, mientras que heladas intensas con temperaturas inferiores a -3 °C matan los tallos a nivel del suelo. A pesar de ello, las plantas pueden sobrevivir y volver a crecer con vigor a partir de la corona de la raíz en la primavera (Dalzell et al., Middleton y Clem, citados por Shelton y Dalzell, 2007).

2.3.1.1 Beneficios económicos y ambientales de la producción con *Leucaena leucocephala*

Se han hallado mejoras en la calidad de la carne de vacunos alimentados con leucaena, por ende a mayor calidad se pueden obtener mejores precios. Esta especie es conveniente para la producción orgánica que es certificada por la Unión Europea, por causa de que se obtiene buena ganancia de carne vacuna sin necesidad de suplementar con proteína/urea adicional o el uso desmesurado de agroquímicos sintéticos entre ellos fertilizantes y pesticidas (Shelton y Dalzell, 2007).

En el análisis económico, el productor debe invertir inicialmente en la implantación de la pastura, donde la rentabilidad es menor cuando la pastura se está instaurando con un subsiguiente período de producción y rendimiento relativamente duradero (Shelton y Dalzell, 2007).

La leucaena es muy utilizada combinada con gramíneas en el norte de Australia, observándose importantes beneficios. Es muy utilizada por los ganaderos por su alta productividad y las exigencias del mercado. En Queensland (Australia) la productividad animal se incrementó en 4 veces, también se vio favorecido el incremento en la capacidad de carga y el bienestar animal, y las leucaenas han alcanzado una longevidad de entre 30 y 40 años en producción. Los agricultores han convertido cultivos de tierras áridas marginales a cultivos de leucaena debido a su desempeño ante el impacto de la sequía, el calentamiento global y la disminución de la rentabilidad y la sostenibilidad de los ecosistemas de zonas secas agrícolas (Shelton y Dalzell, 2007).

Los beneficios ambientales que se destacan son: la mitigación de la salinidad de las tierras secas, control de las pérdidas de suelo por causa de la erosión y mejoras en la calidad del agua. Además mejora la fertilidad del suelo a través de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y modera los gases de efecto invernadero, metano y dióxido de carbono (Shelton y Dalzell, 2007).

Se estima que los arbustos de leucaena acumulan 600 kg. de C/há./año en los tallos en los primeros 5 años después del establecimiento (Mullen, citado

por Shelton y Dalzell, 2007). El carbono adicional, equivalente a 30 % que se acumula en el suelo es almacenado en las raíces dando un estimativo total de 780 kg. C/há./año (Shelton y Dalzell, 2007).

Respecto a la FBN de *Leucaena leucocephala*, se estima que el potencial de fijación de la especie es de 598 kg. de N/há./año (Sanginga et al., citados por Franco y Souto, 1986). Es el valor más alto hallado para las leguminosas tropicales registrado en regiones tropicales (Franco y Souto, 1986).

Si esta especie se maneja regada, la producción de carne vacuna se incrementa de 3 a 6 veces comparado con la plantación en tierras secas, a 1000–1500 kg. de peso vivo/há./año (Petty et al., citados por Shelton y Dalzell, 2007).

2.3.1.2 Beneficios de leucaena sobre la nutrición animal

Las pasturas de gramíneas, incluso en suelos de alta fertilidad, no contienen adecuados niveles de proteína para que los animales aumenten de peso rápida y consistentemente a lo largo del tiempo. Los niveles de proteína cruda de las pasturas tropicales excepcionalmente superan el 10 % de la materia seca, cuando en el engorde de ganado los niveles de proteína bruta deben ser superiores al 12 % de la materia seca de la dieta. A medida que las pasturas maduran, la digestibilidad de la materia seca cae al igual que el porcentaje de proteína cruda. A diferencia de estos valores, el forraje de leucaena contiene 20 % de proteína cruda, es muy digestible y suministra de forma estable una alimentación de alta calidad durante todo el año (Shelton y Dalzell, 2007).

Esta planta es utilizada para la alimentación de rumiantes y de no rumiantes, y el ganado bovino come además de las hojas sus tallos tiernos de hasta 6 mm. de diámetro. El valor nutritivo de la leucaena es comparado con el valor de la alfalfa (*Medicago sativa*). Presenta contenidos de proteína, minerales y aminoácidos muy similares, salvo el contenido de isoleucina, riboflavina y vitamina k, que es aproximadamente el doble en leucaena (NAS, citado por Franco y Souto, 1986). Los taninos presentes en las hojas de leucaena tienen muchos beneficios en la alimentación de rumiantes, ya que protegen a las proteínas en la degradación ruminal lo que produce mayor asimilación en el intestino delgado evitando el meteorismo. Además esta leguminosa aporta β carotenos, precursor de la vitamina A (Franco y Souto, 1986).

De la composición bromatológica de forrajes en SSI en dos localidades de bosque seco tropical en Colombia, se halló un porcentaje de 26,7 % de PC, 40,3 % de FDN, 30 % de FDA y 9,39 % de cenizas, en la localidad Valle Interandino (estaciones secas menores a cuatro meses). Mientras tanto, los porcentajes evaluados en Caribe seco (estaciones secas mayores a cinco meses) fueron: PC= 24,3; FDN= 29,4; FDA= 23,7; cenizas= 7,61 (Barahona et al., citados por Murgueitio et al., 2015). La variedad de la especie de *Leucaena leucocephala* evaluada corresponde a Cunninghamham.

El forraje de leucaena tiene bajo contenido de fibra con valores máximos que no superan el 41 % de FDN y de 30 % de FDA. En la práctica la palabra fibra está relacionada al contenido de pared celular de los forrajes y el de FDN simboliza entre el 30 y 80 % de la materia orgánica del forraje. En los rumiantes, los solubles celulares (materia orgánica menos FDN) son casi en su totalidad digeribles, la degradabilidad de la FDN es muy variable, las diferencias radican en composición y estructura. Altos porcentajes de FDN limita la disponibilidad de energía para los rumiantes. Un alto contenido de FDN resulta en una limitada disponibilidad de energía para los rumiantes (Buxton y Redfearn, citados por Murgueitio et al., 2015).

“La digestibilidad de la proteína alcanza el 63 % y la digestibilidad de la materia seca entre 60 y 70 % medida in vivo” (Barros et al., 2012).

2.3.1.3 Marcos de plantación, manejo y utilización de la leucaena

La forma de cultivar la leucaena depende de la finalidad de producción. Si el objetivo es mantener el cultivo en forma de arbusto para pastoreos asociados, puede ser utilizado en líneas espaciadas de 3 a 5 m. y dentro de las filas con 0,5 a 1 m. entre plantas o sembrar semillas cada 0.1 m., quedando de esta forma el cultivo en el campo. Para diseñar bancos de proteína las plantas pueden ser plantadas a menor distancia entre líneas y espaciadas las filas a 2 m. o incluso a 1 m. (Franco y Souto, 1986).

Para la incorporación de *Leucaena leucocephala* en SSP, se recomienda una dieta para rumiantes con valores inferiores a 40 % lo que representa pasturas con densidades inferiores a 40000 plantas de leucaena/há., no afectando los rendimientos productivos. Mientras tanto la recomendación para SSI donde la densidad de siembra supera las 55000 plantas de leucaena/há., suplementar con energía, por ejemplo melaza o subproductos cítricos ayuda a paliar los probables trastornos metabólicos que puede ocasionar el consumo excesivo de proteína (Barros et al., 2012).

El manejo del sistema de corte se puede comenzar en el período comprendido entre 6 y 8 meses post trasplante. No debe cortarse la leucaena a alturas inferiores a 0.15 a 0.20 m. por encima del nivel del suelo, pudiéndose incluir la cosecha mecanizada. Proporcionar cortes a 0.75 m. de altura aumenta la capacidad de rebrote y la producción (Seiffert y Thiago, citados por Franco y Souto, 1986). La frecuencia de corte cada 90 días garantiza el mantenimiento continuo de la producción. En la primavera y verano en los meses de mayor crecimiento del cultivo, los intervalos de corte pueden disminuirse a 75 o menos días. En otoño e invierno el intervalo entre cortes debe ser cada 4 meses, dependiendo de las condiciones de cada localidad (Philippine Council for Agriculture and Resources Research, citado por Franco y Souto, 1986).

Según Faría - Mármol (1996), quien estudió el efecto del pastoreo sobre distintas variedades de *Leucaena leucocephala* en Venezuela, con precipitaciones promedio anual de 1000 mm. y temperatura media de 28 °C, se realizaron 7 pastoreos durante 7 días de ocupación de 2 horas/día y 42 días de descanso. La carga animal se ajustó para que la defoliación fuese el 100 % del forraje disponible. La altura promedio de las plantas fue de 1,49 m. seis meses posteriores a la siembra. En cuanto a la producción estimada en base a lo hallado, el 60 % de las variedades superaron 2000 kg. de materia seca/há./mes mostrando un excelente potencial forrajero, mientras que el 40 % restante considerados de menor productividad produjeron más de 1500 kg. de materia seca/há./mes.

2.3.2 Angico (*Parapiptadenia rigida*)

“Parapiptadenia rigida (angico) pertenece a la familia Leguminosae, Mimosoidea. El prefijo Para en griego significa “similar a” Piptadenia (otro género de Leguminosae). El género Parapiptadenia posee tres especies en Sudamérica tropical y subtropical. En particular, Parapiptadenia rigida es una especie característica de bosques tropicales y subtropicales de Paraguay, noreste de Argentina, centro y sur de Brasil y noreste del Uruguay” (Muñoz et al., citados por Mareque, 2011).

Es una especie forestal importante para la reposición de montes nativos y en la reforestación de áreas degradadas. Su madera presenta muchos usos, su cáscara tiene propiedades medicinales y es rica en taninos (Lorenzi, citado por Kielse et al., 2009).

Angico es una especie tolerante a bajas temperaturas. Árboles adultos de la flora nativa resisten temperaturas mínimas absolutas de hasta -11 °C. El

hábito de crecimiento presenta ramificación precoz e inclinación inicial de la planta tornándose menos acentuada con el pasar de los años. En condiciones de cultivo, es aconsejable en la fase inicial colocarle un tutor para lograr que la planta crezca erecta. Sin esa protección la planta suele inclinarse sobre el suelo. Tiene la necesidad de podas periódicas para conducir de buena forma las ramas y en esos casos la quita de ramas se realiza a partir de los dos años de edad (Ramalho, 2002).

En Uruguay se encuentra en los montes de quebrada y ribereños en los departamentos de Rivera y Artigas, con escasas presencias y grandes dimensiones. Está presente en las zonas más bajas y húmedas de los montes formando parte del estrato superior del dosel (Brussa y Grela, citados por Mareque, 2011). *Parapiptadenia rígida* se encuentra en distintos tipos de suelos, crece tanto en suelos húmedos como secos, teniendo mayor presencia en suelos bien drenados, se adapta bien a suelos poco profundos, primordialmente los procedentes de basalto, siendo frecuentes en la costa de los valles (Embrapa, citado por Ramalho, 2002). En cultivos experimentales crece mejor en suelos con propiedades físicas adecuadas, con buena fertilidad química, bien drenados y de textura que varía de franco a arcillosa. Debe evitarse su plantación en suelos muy húmedos y de baja fertilidad química (Ramalho, 2002).

Son árboles de gran tamaño que pueden alcanzar alturas de 25 metros y de 0.8 a 0.9 m. de diámetro a la altura del pecho, el tronco es recto con corteza persistente, rugosa, negruzca–grisácea. Sus hojas son persistentes y de color verde oscuro. Las inflorescencias son amarillentas, dispuestas en espigas axilares, cilíndricas de 3 – 5 cm. de largo y su fruto una legumbre de 10 – 12 cm. de largo (Brussa y Grela, citados por Mareque, 2011).

El angico es un cultivo que presenta múltiples propósitos debido a que sus usos y beneficios son diversos. La madera presenta alto valor comercial, es semidura y compacta, siendo eficaz para diferentes utilizaciones. Es de alta utilidad para carpintería, se usa para postes e incluso como durmiente para vía férrea, es apreciada para leña por su poder calórico y escaso humo (Ulibarri et al., citados por Mareque, 2011).

En nuestro país no existe un uso paisajístico de angico a diferencia de Brasil, donde es utilizado como árbol ornamental en plazas, calles y carreteras (Ulibarri et al., citados por Mareque, 2011).

Para el ganado se utiliza como forraje así como sombra y abrigo. Se recomienda dicha especie para restablecer ambientes de áreas degradadas

(reforestación). En Brasil, donde es nativa, enriquece el suelo debido a la fijación biológica de nitrógeno (Ulibarri et al., citados por Mareque, 2011). El forraje de angico presenta 18.9 % de proteína cruda y 9.3 % de taninos (Leme et al., citados por Ramalho, 2002).

2.3.2.1 Inoculantes para angico (*Parapiptadenia rigida*)

Para asegurar la FBN, de manera artesanal se recomienda mezclar tierra del área en el que crecen ejemplares de angico maduros, en las áreas de vivero o el sustrato donde se siembran los angicos (Ramalho, 2002). A nivel de laboratorio, en el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, se identificaron y caracterizaron los rizobios nativos de Uruguay asociados con *Parapiptadenia rigida* que pueden ser capaces de promover su crecimiento. Se identificaron los lugares de Uruguay donde crecen y producen semillas los angicos, se recogieron y conservaron sus semillas, y se aislaron cepas bacterianas de nódulos de plantas ubicadas en diferentes montes nativos de Uruguay. En el monte nativo presente a lo largo de los ríos Mandiyú y Uruguay fue donde se encontró la mayor diversidad genética en los rizobios (Taulé et al., 2012).

Este trabajo dio como resultado que los beta-rizobios *Burkholderia* y *Cupriavidus* son los principales rizobios nodulantes de angico que están presentes en forma natural, con *Burkholderia* como el género más comúnmente representado. Se demostró que angico también puede nodular con alfa-rizobios que pertenecen a los géneros *Rhizobium* y *Sinorhizobium*. La respuesta que manifestó el árbol de angico a la inoculación apoya la posibilidad de que las cepas *Burkholderia* y *Cupriavidus* puedan ser utilizadas como inoculante (Taulé et al., 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El estudio fue realizado en el establecimiento perteneciente al señor Juan Ferrao, ubicado en la Colonia Presidente Oscar Diego Gestido, que pertenece al Instituto Nacional de Colonización y está ubicada a 25 km. al norte de la ciudad de Salto. El período experimental se extendió desde agosto de 2012 hasta abril de 2013.

3.2 ÁREA EXPERIMENTAL

La imagen satelital muestra el predio donde se hizo el experimento de la tesis (figura 1). Están marcados con puntos de distinto color donde se identifican casa, galpón, invernáculo y pozo semisurgente.

Los números 1, 2, 3 y 4 indican las zonas del predio donde se realizaba agricultura en el momento de realizar el experimento. En los números 1 y 2 realizaban horticultura, en el punto 3 se hizo el experimento con leucaena y angico, y donde había además horticultura. El número 4 representa el área destinada a citrus.

Figura 1. Imagen satelital del predio



En la siguiente imagen el área delimitada en rojo representa el ensayo de la tesis con la totalidad de las plantas evaluadas (figura 2).

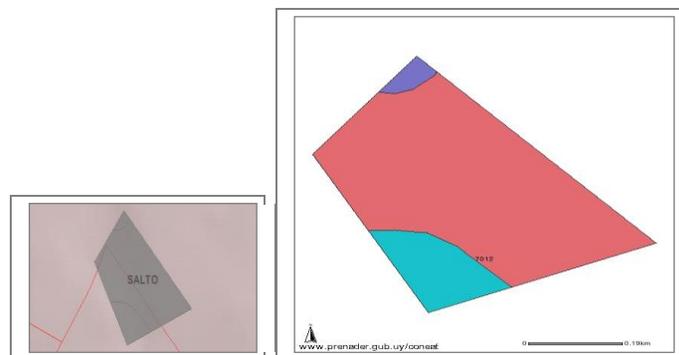
Figura 2. Vista aérea del sitio experimental



3.3 SUELO

Según el mapa CONEAT la mayor parte de la superficie del predio donde se hizo el ensayo se encuentra dentro del grupo SO920 y un pequeño porcentaje dentro del grupo SO921. Los suelos predominantes son Argisoles, con textura franco arenosa, fertilidad baja y drenaje imperfecto. El índice productivo promedio CONEAT es de 45 (García, 2014).

Figura 3. Distribución de suelos CONEAT



Fuente: MGAP. CONEAT (2014)

Cuadro 1. Ubicación de suelo CONEAT

Departamento	No. padrón	Sección judicial	Superficie catastral (há.)	Índice productivo
Salto	7012	3	20.3097	45

Fuente: MGAP. CONEAT (2014)

Cuadro 2. Porcentaje de Suelos CONEAT perteneciente al predio en estudio

Salto – 7012		
Grupo	Índice	Porcentaje (%)
S09.11	39	2.31
S09.20	44	83.99
S09.21	61	13.70

Fuente: MGAP. CONEAT (2014)

3.3.1 Historia de la parcela

En los dos años previos a la instalación del experimento en esta parcela se realizaron cultivos de cebolla y frutilla. El 10/5/2012 se sembró avena y se incorporó a los dos meses (15/7) con 15-20 cm. de altura. Previo al trasplante se encanteró con arado de manquera.

Se realizó laboreo primario y secundario en la zona donde se hizo el trasplante de los plantines del ensayo. De esta manera el terreno quedó en condiciones al haber eliminado malezas que inicialmente podrían ejercer efectos de competencia en el ensayo. No se realizaron aportes iniciales de nutrientes y/o materia orgánica en el ensayo de leucaena y angico.

3.3.2 Análisis de suelo

Los suelos del área experimental presentan textura arenosa a franco-arenosa, y de poca fertilidad. Un horizonte A de 30 cm. de profundidad, horizonte Bt de 30-50 cm. por debajo, y un horizonte C de 50-70 cm. de la superficie. Presentan acidez moderada y bajo porcentaje de materia orgánica.

3.4 MANEJO DEL CULTIVO

3.4.1 Manejo de almácigos

Angicos y leucaenas se diferenciaron por sus dos orígenes para cada especie y por la presencia o ausencia de inoculante. La siembra de almácigo se realizó el 25 de enero de 2012. Las semillas de angico fueron provenientes de los departamentos de Salto y Artigas.

Parte de las semillas de cada origen se inocularon con cepas específicas de bacterias simbióticas de angicos, aisladas en forma experimental en el instituto Clemente Estable (Taulé et al., 2012). Las semillas utilizadas de leucaena provinieron de Colombia (variedad Cunningham) y de un predio cercano en Salto (variedad desconocida). En las plantas de leucaena inoculadas se utilizaron cepas no específicas para la especie (el mismo inoculante experimental de angico proveniente del Instituto Clemente Estable).

3.4.2 Trasplante y marco de plantación

En el área experimental las dos leguminosas arbóreas, angico y leucaena, se trasplantaron el 15 de agosto del año 2012 de forma manual. El trasplante consistió en hacer los pozos en los canteros y colocar los plantines a raíz cubierta, a la profundidad que correspondía al terrón de cada maceta.

El área donde se hizo el ensayo se dividió en cuatro bloques que estuvieron constituidos con 8 unidades experimentales, con 9 plantas cada una de ellas, por lo tanto cada bloque está constituido por 72 plantas.

Cada unidad experimental consistió en filas de 9 plantas trasplantadas a 1 m. de distancia. Cada cantero de los dos presentes, estaba constituido por dos hileras, donde cada hilera de plantas se encontraba a una distancia de 1 m.

Las leucaenas de semilla proveniente del departamento de Salto fueron 46 plantas en total: 22 plantas inoculadas y 24 sin inocular (cuadro 43). Las leucaenas de semilla de Colombia fueron 72 plantas: 36 inoculadas y 36 sin inocular.

Los angicos provenientes de semilla originaria de Artigas fueron 62 plantas inoculadas y 36 plantas sin inocular. Los angicos de semilla originaria de Salto fueron 36 plantas inoculadas y 36 plantas sin inocular. Por razones ajenas al ensayo (manejo del productor en el vivero), hubo un número menor de leucaenas del origen Salto. Debido a este motivo se decidió aprovechar el espacio de estas, utilizando un mayor número de plantas de angicos inoculadas.

En resumen, el total de plantas evaluadas fueron 288, de las cuales 118 corresponden a la especie leucaena (Uruguay y Colombia) y las 170 plantas restantes a la especie angico (Salto y Artigas).

Cuadro 3. Número de plantas por especie y origen según tipo de inoculación

Especie y origen	Número de planta		Total
	Con inoculante	Sin inoculante	
Leucaena Salto	22	24	
Leucaena Colombia	36	36	
Total leucaena	58	60	118
Angico Artigas	62	36	
Angico Salto	36	36	
Total angico	98	72	170
		Total de plantas	288

3.4.3 Aplicación de biofertilizante

En la primera quincena de noviembre del 2012 y en enero del 2013 se realizaron aplicaciones de biofertilizante (mezcla casera de un tercio de estiércol vacuno y el resto agua, que fermentó durante un mes antes de la aplicación), al pie de todos los árboles del ensayo. Se utilizó una dosis de 250 ml. por planta, donde 2/3 correspondió al biofertilizante fermentado y 1/3 a agua.

3.4.4 Otras actividades hechas en el cultivo

Se realizaron dos desmalezados a mano y con azada en el mes de noviembre del 2012 y enero del 2013. Luego del último desmalezado se colocó mulch de paja de trigo sobre los canteros donde estaban las plantas del ensayo.

Esto se hizo con el objetivo de cubrir el suelo desnudo, disminuir la escorrentía superficial, regular la temperatura del suelo, conservar la humedad, disminuir la incidencia de malezas y, en el mediano plazo, aportar nutrientes y materia orgánica al suelo por medio de la descomposición del material.

Debido al estrés que produjo en las plantas la falta de lluvias y altas temperaturas en algunos períodos del ensayo, se realizaron dos riegos por cinta sobre la línea de plantas, con goteros a 30 cm. de distancia. El primer riego durante dos días consecutivos en el mes de enero, y el segundo también en dos días consecutivos, en el mes de febrero del año 2013.

3.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL PERÍODO EXPERIMENTAL

Durante el período de seguimiento de la etapa de campo, se tomaron los registros de algunas variables climáticas de la estación meteorológica más cercana a la zona del ensayo que corresponde a la Estación Experimental INIA Salto Grande (cuadro 4).

Estas variables fueron: precipitaciones acumuladas en milímetros y temperaturas máximas, medias y mínimas promedio mensuales medidas en grados Celsius. Se eligieron estas variables por entender que tienen un impacto relevante sobre el ambiente y las plantas.

Cuadro 4. Registro de temperaturas mínimas-medias-máximas promedios mensuales registrados en INIA Salto Grande en el período transcurrido desde agosto 2012 a abril 2013

	Promedio T °C mínima	Promedio T °C media	Promedio T °C máxima
Agosto	11,21	16,19	22,05
Setiembre	12,00	17,37	22,86
Octubre	14,75	19,48	23,84
Noviembre	17,01	23,00	28,93
Diciembre	18,00	24,02	29,91
Enero	18,17	23,95	29,57
Febrero	18,20	23,73	29,49
Marzo	14,76	20,51	26,29
Abril	11,48	18,45	25,38

Fuente: elaborado en base a datos extraídos de INIA. GRAS (2013).

Cuadro 5. Registro histórico de temperaturas mínimas-medias-máximas promedios mensuales registrados en INIA Salto Grande en el período 1970-2015

	Promedio T °C mínima	Promedio T °C media	Promedio T °C máxima
Agosto	8,00	13,73	19,71
Setiembre	9,55	15,61	21,60
Octubre	12,67	18,76	24,64
Noviembre	14,77	21,23	27,25
Diciembre	17,27	23,88	30,24
Enero	19,12	25,46	31,80
Febrero	18,34	24,12	30,10
Marzo	16,63	22,32	28,31
Abril	13,05	18,61	24,40

Fuente: elaborado en base a datos extraídos de INIA. GRAS (2013).

Comparando las temperaturas mínimas promedio de los meses en que se realizó el experimento con los promedios históricos (cuadro 5) se puede deducir que, los meses agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre las temperaturas mínimas promedio del período de estudio fueron superiores entre 1 °C y 3 °C. En los meses de enero, febrero, marzo y abril las temperaturas mínimas promedio del registro histórico fueron superiores al período de estudio en 0,5 °C y 2 °C.

En el caso de la comparación entre las temperaturas medias de los meses en que se efectuó el experimento, con los promedios históricos se puede deducir que, en los meses de agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre las temperaturas medias promedio del período de estudio fueron superiores entre 0,5 °C y 2,5 °C. En los meses de enero, febrero, marzo y abril las temperaturas medias promedio del registro histórico fueron superiores al período de estudio entre 0,5 °C y 2 °C.

Si comparamos las temperaturas máximas de los meses en que se llevó a cabo el experimento, con el promedio histórico se puede decir que en los meses de agosto, setiembre, noviembre y abril la temperatura del período de estudio fue superior entre 1 °C y 2 °C al registro histórico promedio. En tanto, en los meses de octubre, diciembre, enero, febrero y marzo las temperaturas máximas del registro histórico fueron superiores al período de estudio entre 0,5 °C y 2 °C respectivamente.

Cuadro 6. Registro de precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP) promedio, comparando el período de estudio y el registro histórico, en INIA Salto Grande

	Precipitaciones Mensuales en mm., ago.-set.-oct.-nov.-dic./ 2012 y ene.-feb.-mar.-abr./2013	ETP promedio	Precipitaciones mensuales históricas en mm., años 1980-2009	ETP promedio
Agosto	58,5	1,86	58,7	1,94
Setiembre	30,4	2,67	86,6	2,83
Octubre	158	3,34	134,2	3,90
Noviembre	38	5,01	141,8	4,96
Diciembre	65,9	4,96	125,3	5,77
Enero	38,5	5,82	118,2	5,99
Febrero	45,7	4,91	129,6	4,96
Marzo	29,6	3,60	157,7	3,84
Abril	43	2,51	162,2	2,33

Fuente: elaborado en base a datos extraídos de Castaño et al. (2011)

Las precipitaciones en el período de estudio (cuadro 6), fueron de 507,6 mm. durante nueve meses, lo que lleva a un promedio mensual de 56,4 mm., mientras que la ETP del mismo período fue de 1050 mm., con una ETP promedio mensual de 116,7 mm. Las precipitaciones solo cubrieron un 48 % de la ETP del período. Los registros de precipitaciones fueron bajos con respecto a las medias nacionales desde 1980 a 2009. Analizando ese promedio mensual de precipitaciones, a lo largo de los nueve meses precipitaron 1114,3 mm. dando como resultado un promedio de 123,8 mm. mensuales, mientras que la ETP del mismo período fue de 1108 mm., con una ETP promedio mensual de 123,1 mm. Las precipitaciones cubrieron 105 % de la ETP del período. Estas diferencias entre la ETP y las precipitaciones durante la estación de mayor registro de temperaturas (especialmente entre los meses de noviembre y abril), acentuaron el déficit hídrico en el suelo con el consecuente estrés en las especies evaluadas.

3.6 EVALUACIONES REALIZADAS EN EL ENSAYO

A la totalidad de las plantas se le efectuaron 6 registros de altura desde el momento del trasplante hasta la cosecha de las hojas y sus tallos nuevos. Las mediciones en altura se hicieron el 15 de agosto, 21 de setiembre, 3 de noviembre y 15 de diciembre del año 2012; y el 26 de enero y el 1 de marzo del año 2013.

En los distintos momentos de registro de altura de planta, mediante observaciones realizadas se constataron además: tallos cortados, bifurcados, con muerte apical, ápices comidos, apertura floral, muerte de hojas, ataque de hormigas, tallos secos rebrotando de su base, plantas secas y plantas con floración y con producción de semillas.

El 22 de abril del año 2013 se realizó la cosecha del material vegetal. Luego de la última medición de altura, se realizó la cosecha de forraje simulando el bocado que realizarían los vacunos. Por lo tanto en esa cosecha se incluyeron hojas y ramitas con un diámetro menor a 0,4 cm.

La colecta del material vegetal se hizo a mano. Debido al escaso volumen extraído y para poder hacer su análisis químico en laboratorio, se hicieron tres muestras compuestas de todo el ensayo: una constituida por angico (Salto y Artigas juntas), otra muestra de leucaena (Salto) y por último una muestra de leucaena (Colombia).

Las muestras se pesaron y fueron enviadas al laboratorio de Nutrición Animal perteneciente a Facultad de Agronomía para realizarse el análisis de composición química: Materia Seca (MS), Cenizas, Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC) (Nitrógeno total X 6,25), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Hemicelulosa, Celulosa, Lignina; y Extracto al éter (EE), de acuerdo a los métodos de análisis de la AOAC (1995).

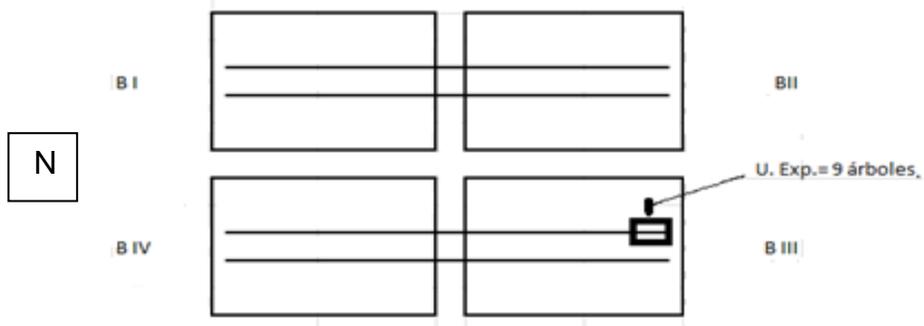
Antes de finalizar el ensayo, en el mes de marzo del 2013 se tomaron 4 muestras de suelo compuestas de los cuatro bloques del ensayo, con la finalidad de determinar su composición química. Las muestras de suelo se tomaron a las profundidades de 0 a 20 cm.

El análisis químico de la muestra de suelo se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos y Aguas perteneciente a la División de Suelos y Agua del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP. DSA).

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

En este ensayo, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Durante el período experimental se realizaron medidas repetidas en el tiempo, las cuales fueron incorporadas dentro de los modelos de análisis. La unidad experimental estuvo conformada por 9 árboles. Se analizó la variable altura de planta.

Figura 4. Zonas (bloques) del ensayo



3.7.1 Diseño del ensayo

Cuadro 7. Diseño del ensayo con distribución de plantas

1	LS si*	LC si**	LS ci***	LC ci****	AA ci*****	LC si	LS si	LC ci
2	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	LS si	LC ci
3	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	LS si	LC ci
4	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	LS si	LC ci
5	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	AA ci	LC ci
6	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	AA ci	LC ci
7	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	AA ci	LC ci
8	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	AA ci	LC ci
9	LS si	LC si	LS ci	LC ci	AA ci	LC si	AA ci	LC ci
1	AA ci	AS ci*****	AS si*****	AA si*****	AA si	AS ci	AA ci	AS si
2	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
3	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
4	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
5	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
6	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
7	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
8	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
9	AA ci	AS ci	AS si	AA si	AA si	AS ci	AA ci	AS si
1	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
2	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
3	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
4	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
5	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
6	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
7	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
8	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
9	AS ci	AA ci	AS si	AA si	AA si	AS si	AA ci	AS ci
1	LS ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
2	LS ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
3	LS ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
4	LS ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
5	AA ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
6	AA ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
7	AA ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci
8	AA ci	LS si	LC si	LC ci	LC ci	AA ci	LC si	LS ci

Referencias.

Letra roja: Bloque 1.

Letra negra: Bloque 2.

Letra azul: Bloque 3.

Letra verde: Bloque 4.

*LS si: Leucaena Salto sin inoculante.

**LC si: Leucaena Colombia sin inoculante.

***LS ci: Leucaena Salto con inoculante.

****LC ci: Leucaena Colombia con inoculante.

*****AA ci: Angico Artigas con inoculante.

*****AS ci: Angico Salto con inoculante.

*****AS si: Angico Salto sin inoculante

*****AA si: Angico Artigas sin inoculante.

.

Modelo estadístico

El modelo estadístico empleado para analizar la información relevada en el experimento fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + \beta_j + AB_{ij} + \beta_k + \chi_l + A\chi_{il} + \beta\chi_{jl} + AB\chi_{ijl} + \epsilon_{ijkl}.$$

Y_{ijkl} = altura de planta del j-ésimo origen, i-ésimo inóculo, en el k-ésimo bloque y e la l-ésima fecha.

μ = media general.

A_i = efecto relativo del i - ésimo origen.

B_j = efecto relativo del j - esimo inóculo.

AB_{ij} = interacción origen x inóculo.

B_k = efecto relativo k – esimo bloque.

χ_l = efecto relativo l – esima fecha.

$A\chi_{il}$ = interacción origen x fecha.

$\beta\chi_{jl}$ = interacción inóculo x fecha.

$AB\chi_{ijl}$ = interacción origen x inoculante x fecha.

ϵ_{ijkl} = error experimental.

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y contrastes para analizar los efectos principales de especie, orígenes e inóculo. Para todos los análisis estadísticos se trabajó con un nivel de confianza del 95 %.

Los análisis estadísticos fueron implementados en el programa estadístico SAS (versión 9.2), utilizando el procedimiento PROC MIXED.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el trasplante en adelante, hubo varios problemas que afectaron el desarrollo normal y el crecimiento de las especies estudiadas. En el vivero muchas de las plantas sufrieron estrés a causa de la poda intensa de sus raíces (no intencional, no planificada) que habían atravesado las macetas y continuaron creciendo en la tierra. En el transcurso de la etapa de campo pos trasplante en las que se visitó el cultivo se constató en más de una oportunidad ataque de hormigas cortadoras. Por otro lado, debido a las altas temperaturas y falta de lluvia, el cultivo pasó por un período de sequía sin riego.

4.1 OBSERVACIONES DURANTE LAS ETAPAS EVALUADAS

En las seis observaciones realizadas sobre las plantas, en las mismas fechas en que se midió su altura, se destacan los siguientes comentarios:

Primera fecha (15/08/2012). Se encontraron 36 plantas cortadas en sus ápices de las cuales 24 pertenecían a la especie angico y 12 a la especie leucaena. Había 10 plantas que tenían síntomas de quemado por causa de heladas agroclimatológicas, de las que 9 plantas pertenecían a angico y 1 a leucaena. En el total había solo una planta de angico que tenía 2 tallos principales.

Segunda fecha (21/09/2012). Se encontraron 27 plantas con muerte apical, de las cuales fueron 11 leucaenas y 16 angicos. Se encontraron 9 plantas de leucaena con el ápice comido (liebre). Se encontraron 2 plantas de angico con 2 tallos principales. Había 6 plantas con tallos con caída de hojas, de las cuales 5 eran leucaena y 1 de angico.

Tercera fecha (03/11/2012). Se encontraron 13 plantas de leucaena con flores. Había 12 plantas con muerte de hojas, 11 pertenecen a leucaena y 1 a angico. Una sola planta de angico con tallo quebrado y una planta de leucaena comida por hormigas. Por último se observaron 2 plantas de angico y 1 planta de leucaena con 2 tallos principales.

Cuarta fecha (15/12/2012). Se encontraron 12 plantas de leucaena florecidas. Se registraron 44 plantas con tallos sin presencia de hojas, 21 plantas correspondientes a angico y 23 leucaena. Había 6 plantas con muerte apical, de las cuales 4 eran de angico y 2 plantas de leucaena. Por último se vieron 4 plantas comidas por hormigas, de las cuales 3 eran angico y 1 leucaena.

Quinta fecha (26/01/2013). En esta ocasión se encontraron 15 plantas florecidas, 14 de ellas pertenecientes a leucaena y 1 a angico. Se encontraron 52 plantas cuyos tallos estaban sin hojas, 15 de las cuales pertenecientes a leucaena y 37 plantas a angico. Había 27 plantas con tallos muertos que rebrotaron de la base, de las cuales 10 son plantas de leucaena y las 17 restantes son plantas de angico. Se observaron 7 plantas con muerte apical, 5 de ellas eran leucaena y 2 angico. Se encontró que faltaban 2 plantas de angico.

Sexta fecha (01/03/2013). En esta ocasión se registraron 12 plantas con presencia de vainas con semillas, de las cuales 11 eran plantas de la especie leucaena y 1 planta de la especie angico. En esta fecha se incrementó el daño causado por hormigas, se registraron 27 plantas, de las cuales 19 eran de leucaena y 8 de angico. Se encontraron 56 plantas que presentaban tallos secos con rebrotes desde la base, de las que 12 plantas pertenecen a leucaena y 44 plantas a angico. Se cuantificaron 43 plantas en las cuales había presencia de tallo y caída de hojas, de ellas había 12 plantas de leucaena y 31 plantas de angico. Se encontró que faltaban 5 plantas de angico.

4.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Dentro del análisis estadístico se realizó un estudio de contrastes (cuadro 8). Este estudio consideró si una especie con su respectivo tratamiento que se supone es una población estadística, es compatible con lo observado en una muestra de la mencionada población.

Las estimaciones con signo negativo indican que la opción luego de “versus” es la mejor. Si el número es positivo la especie que está por delante de “versus” es la superior en centímetros comparativamente.

Se utilizó la prueba de p-valor para determinar si hubo o no diferencias significativas en el análisis de contraste. El análisis se consideró con diferencias significativas con un $p \leq 0,05$.

En pruebas de significación y diseño de experimentos Fisher empleó el p-valor que es la probabilidad que admite declarar la significación de una prueba, el mismo es usado para señalar que la probabilidad es suficientemente pequeña como para rechazar la hipótesis planteada (Salsburg, citado por Romero, 2012).

Se realizó test de Tukey para probar las diferencias entre medias de los tratamientos en lo que respecta a altura de plantas. Cada diferencia de letra en el test de Tukey muestra las diferencias significativas entre comparación de tratamientos. Si comparten letras los tratamientos no se diferencian estadísticamente entre sí. Este análisis asume un ($p < 0.05$).

A partir del estudio de contrastes, surgen los siguientes resultados (cuadro 8):

- Si nos enfocamos a la comparación entre especies sin discriminar origen e inoculación, leucaena manifestó diferencias significativas con ($p \leq 0,0001$) en el crecimiento en altura que fue superior en 20,02 cm. sobre la especie angico, para el promedio de los seis momentos de evaluación.
- El angico originario de Artigas creció con un valor significativo mayor de 12,71 cm. más que la especie angico Salto. La significancia de esta diferencia fue de ($p \leq 0,0003$).
- La especie leucaena originaria de Colombia mostró crecimiento superior de 6,84 cm. respecto a la especie leucaena originaria de Salto encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0,0467$).
- En el contraste realizado entre leucaena Salto inoculada y no inoculada, la diferencia en altura no mostró diferencias significativas ($p \leq 0,2688$).
- Evaluando los efectos de la inoculación sobre la altura de las plantas, sin discriminar especies, se determinó que las plantas inoculadas demostraron tener un crecimiento superior de 11,79 cm. a las especies no inoculadas, observándose diferencias significativas ($p \leq 0,0001$).
- Sin embargo, comparando el efecto de la inoculación sobre la especie leucaena Colombia, este resultado no arrojó diferencias significativas ($p \leq 0,3696$).
- Otra prueba realizada comparó la especie leucaena Colombia no inoculada con la especie leucaena Salto inoculada. En este caso ambos tratamientos no se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0,6498$).
- La especie angico originaria de Artigas inoculada creció 33,35 cm. más que las plantas no inoculadas del mismo origen, esto fue demostrado significativamente con ($p \leq 0,0001$).

- Al analizar la especie angico de origen Salto y demostrar si dicha especie responde a la inoculación o no, en este caso la diferencia no fue significativa ($p \leq 0,3037$).
- La especie leucaena sin diferenciar su origen, la misma no demostró diferenciarse significativamente ($p \leq 0,1797$) en respuesta a la inoculación con la cepa específica para angico.
- La especie angico sin discriminar origen, tuvo un crecimiento mayor de 18,86 cm. en las plantas inoculadas sobre las plantas sin inocular, argumentando ser significativamente diferente ($p \leq 0,0001$).

Cuadro 8. Contraste realizado con los datos promedio de las 6 mediciones de altura de las plantas del ensayo

CONTRASTE	ESTIMADOR	p - valor
Angico vs. leucaena	-20,02	0,0001
Angico Artigas vs. angico Salto	12,71	0,0003
Leucaena Colombia vs. leucaena Salto	6,84	0,0467
Leucaena Salto inoculado vs. leucaena Salto no inoculado	5,67	0,2688
Inoculado vs. no inoculado	11,79	0,0001
Leucaena Colombia inoculado vs. leucaena Colombia no inoculado	3,8	0,3696
Leucaena Salto inoculado vs. leucaena Colombia no inoculado	-2,1	0,6498
Angico Artigas inoculado vs. angico Artigas no inoculado	33,35	0,0001
Angico Salto inoculado vs. angico Salto no inoculado	4,37	0,3037
Leucaena inoculado vs. leucaena no inoculado	4,73	0,1797
Angico inoculado vs. angico no inoculado	18,86	0,0001

Con el test de Tukey se encontraron similares diferencias significativas: para el promedio de las seis fechas (cuadro 9), y para la primera fecha de mediciones el 15 de agosto de 2012 (cuadro 10). Leucaena Colombia con y sin inoculante, leucaena Salto con y sin inoculante, y angico Artigas con inoculante resultaron ser significativamente mayores en altura con respecto a angico Salto con y sin inoculante y angico Artigas sin inoculante.

Cuadro 9. Promedio de registro de las 6 fechas de medición en altura correspondiente al ensayo

TRATAMIENTOS	MEDIA (cm.)	DESVIO ESTANDAR (cm.)	TUKEY TEST
Leucaena Colombia con inoculante	65,84	2,92	A
Angico Artigas con inoculante	63,54	2,87	A
Leucaena Colombia sin inoculante	62,04	2,92	A
Leucaena Salto con inoculante	59,94	3,5	A
Leucaena Salto sin inoculante	54,27	3,5	A
Angico Salto con inoculante	36,33	2,92	B
Angico Salto sin inoculante	32	2,93	B
Angico Artigas sin inoculante	30,2	2,93	B

Cuadro 10. Primera fecha de registro de medición en altura correspondiente a 15 de agosto de 2012

TRATAMIENTOS	MEDIA (cm.)	DESVIO ESTANDAR (cm.)	TUKEY TEST
Leucaena Colombia con inoculante	62,94	3,56	A
Leucaena Colombia sin inoculante	59,78	3,56	A
Leucaena Salto con inoculante	56,5	4,35	A
Leucaena Salto sin inoculante	53,7	4,35	A
Angico Artigas con inoculante	53,64	3,25	A
Angico Salto con inoculante	28,03	3,56	B
Angico Salto sin inoculante	25,17	3,56	B
Angico Artigas sin inoculante	23,75	3,56	B

En el cuadro 11 se presentan los resultados de altura de planta en el segundo momento de muestreo. En este caso, fueron observadas diferencias estadísticamente significativas relacionadas a la altura de las plantas, entre ellas se destacan: leucaena Colombia con inoculante, leucaena Colombia sin

inoculante, angico Artigas con inoculante, leucaena Salto con inoculante, leucaena Salto sin inoculante en las que el crecimiento fue mayor en altura respecto a las especies angico Salto con inoculante, angico Salto sin inoculante, angico Artigas sin inoculante.

Cuadro 11. Segunda fecha de registro de medición en altura correspondiente al 21 de setiembre de 2012

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	TUKEY TEST
Leucaena Colombia con inoculante	63,11	3,56	A
Leucaena Colombia sin inoculante	61,19	3,56	A
Angico Artigas con inoculante	54,64	3,25	A
Leucaena Salto con inoculante	54,13	4,35	A
Leucaena Salto sin inoculante	51,92	4,35	A
Angico Salto con inoculante	28,03	3,56	B
Angico Salto sin inoculante	25,17	3,56	B
Angico Artigas sin inoculante	23,75	3,56	B

En el cuadro 12 se presentan las alturas de planta observadas en el tercer momento de muestreo (3 de noviembre 2012). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la variable altura de planta, se diferenciaron las especies angico Artigas con inoculante, leucaena Colombia con inoculante, leucaena Colombia sin inoculante, de las demás especies. Manifestaron tener mayor crecimiento en altura que las demás especies con sus respectivos tratamientos. Los tratamientos que tuvieron menor altura que los antes mencionados fueron: leucaena Salto con inoculante, leucaena Salto sin inoculante, angico Salto con inoculante, angico Salto sin inoculante y angico Artigas sin inoculante.

Cuadro 12. Tercera fecha de registro de medición en altura correspondiente al 3 de noviembre de 2012

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	TUKEY TEST
Angico Artigas con inoculante	66,24	3,25	A
Leucaena Colombia con inoculante	65,75	3,56	A
Leucaena Colombia sin inoculante	60,69	3,56	A
Leucaena Salto con inoculante	60,63	4,35	AB
Leucaena Salto sin inoculante	54,15	4,35	ABC
Angico Salto con inoculante	40	3,56	BCD
Angico Salto sin inoculante	35,28	3,56	CD
Angico Artigas sin inoculante	30,86	3,56	D

En el cuadro 13 se puede observar para las mediciones de altura del cuarto momento de evaluación (15 de diciembre de 2012). Se encontraron diferencias significativas entre especies, angico Artigas con inoculante, leucaena Colombia con inoculante, leucaena Salto con inoculante y leucaena Colombia sin inoculante demostraron tener mayor crecimiento en relación a leucaena Salto sin inoculante, angico Salto con inoculante, angico Salto sin inoculante y angico Artigas sin inoculante.

Cuadro 13. Cuarta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 15 de diciembre de 2012

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	TUKEY TEST
Angico Artigas con inoculante	69,01	3,25	A
Leucaena Colombia con inoculante	67,86	3,56	A
Leucaena Salto con inoculante	63,09	4,35	A
Leucaena Colombia sin inoculante	62,47	3,56	A
Leucaena Salto sin inoculante	55,1	4,35	ABC
Angico Salto con inoculante	40,9	3,56	BC
Angico Salto sin inoculante	34,86	3,56	C
Angico Artigas sin inoculante	32,72	3,56	C

En el cuadro 14, la siguiente fecha mostró diferencias significativas entre las especies angico Artigas con inoculante, leucaena Colombia con inoculante, leucaena Colombia sin inoculante, leucaena Salto con inoculante y se diferencian en mayor altura que las especies leucaena Salto sin inoculante, angico Salto con inoculante, angico Salto sin inoculante y angico Artigas sin inoculante.

Cuadro 14. Quinta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 26 de enero de 2013

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	TUKEY TEST
Angico Artigas con inoculante	67,72	3,26	A
Leucaena Colombia con inoculante	66,33	3,56	A
Leucaena Colombia sin inoculante	64,03	3,56	A
Leucaena Salto con inoculante	61,54	4,35	AB
Leucaena Salto sin inoculante	53,89	4,35	ABC
Angico Salto con inoculante	39,78	3,56	BC
Angico Salto sin inoculante	34,19	3,58	C
Angico Artigas sin inoculante	33,64	3,56	C

En el cuadro 15, en la última medición realizada se encontró diferencias significativas donde quedaron por un lado las especies superiores en altura: angico Artigas con inoculante, leucaena Colombia con inoculante, leucaena Colombia sin inoculante, leucaena Salto con inoculante, diferenciándose de las especies angico Salto con inoculante, angico Salto sin inoculante y angico Artigas sin inoculante. El tratamiento leucaena Salto sin inoculante no se diferencia significativamente de los A, ni de los B.

Cuadro 15. Sexta fecha de registro de medición en altura correspondiente al 1 de marzo de 2013

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR	TUKEY TEST
Angico Artigas con inoculante	70	3,25	A
Leucaena Colombia con inoculante	69,06	3,56	A
Leucaena Colombia sin inoculante	64,08	3,56	A
Leucaena Salto con inoculante	63,72	4,35	A
Leucaena Salto sin inoculante	56,92	4,35	AB
Angico Salto con inoculante	41,28	3,56	B
Angico Salto sin inoculante	37,09	3,62	B
Angico Artigas sin inoculante	36,39	3,62	B

A modo de discusión sobre los resultados presentados en los cuadros anteriores, se realizan los siguientes comentarios:

- Se esperaba un efecto positivo de la inoculación con cepas fijadoras de nitrógeno sobre la altura de planta de las distintas especies y sus respectivos orígenes evaluados. Quedó evidenciado estadísticamente que sólo la especie angico originaria de Artigas respondió a la inoculación y se diferenció en altura con respecto a las plantas de angico Artigas sin inocular. La cepa utilizada para la inoculación fue aislada a partir de angico. Hubo efecto significativo para el origen Artigas en que las cepas utilizadas como inoculante provenían de las regiones donde se obtuvieron las semillas que dieron origen a las plantas utilizadas en el ensayo.
- En la primera medición pos trasplante realizado el 15 de agosto, se vio un mayor crecimiento de la especie leucaena sobre la especie angico. Este resultado pudo deberse al efecto combinado de la mayor velocidad de crecimiento de leucaena, junto a las mejores condiciones microclimáticas en el invernáculo para una especie de origen tropical (América Central). Acumular calor y aumentar la temperatura en los meses invernales favoreció en mayor medida el crecimiento de la especie tropical leucaena sobre la especie subtropical angico.
- En la segunda medición realizada el 21 de setiembre no tuvieron crecimiento las leucaenas con inoculante y sin inoculante, en este caso muchas plantas tenían el ápice comido, lo que puede explicar el resultado encontrado. Entre la primera y segunda fecha prácticamente no tuvieron cambios en el crecimiento de ambas especies, lo cual puede deberse al estrés pos trasplante.
- En la tercera medición de altura correspondiente al 3 de diciembre comenzaron a manifestar una mayor altura las plantas de angico originarias de Artigas con inoculante, leucaena Colombia con y sin inoculante, y leucaena Salto sin inoculante, tendencia que se mantuvo hasta la última medición.

4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ESPECIES EVALUADAS

A partir de las muestras extraídas al final del experimento para evaluar las propiedades alimenticias del follaje, no se pudo realizar análisis estadístico de los distintos tratamientos ya que se tomaron muestras compuestas por presentar un escaso volumen de material vegetal cosechado, y por causa de esto se perdió la variabilidad dentro de los tratamientos.

De los análisis realizados sobre el follaje en abril del año 2013 (cuadro 16): la composición química de las muestras realizadas evidencia similar porcentaje de PC entre las especies leucaena Salto y angico con un valor en el entorno del 12 % y la especie leucaena Colombia superando el 15 % de PC.

Según Molina et al. (2015) la especie leucaena presentó valores de 27 % de proteína cruda (PC), 30.9 % de fibra detergente neutro (FDA) y 34 % de fibra detergente ácido (FDA).

Se observa que las leucaenas tanto de origen Salto como Colombia presentaron valores inferiores de (PC) y (FDA), dando valores acordes de (FDN) y cenizas a los valores hallados por Molina et al. (2015).

Cuadro 16. Composición química de las especies, angico, leucaena de Colombia y leucaena de Salto en el primer año de crecimiento (valores expresados en % de la materia seca)

VARIABLES	Angico*	Leucaena Salto	Leucaena Colombia
MS	44.57	32.35	28.87
Cenizas	5.88	10.16	6.96
MO	94.12	89.84	93.04
PC	11.77	11.56	15.29
FDN	57.20	31.35	32.26
FDA	42.52	21.64	20,33
Hemicelulosa	14.68	9.71	11.93
Celulosa	12.71	9.83	12.11
Lignina	27.07	11.81	8.22
EE	1.64	2.73	3.58

*Corresponde a la muestra compuesta de angico: angico de Artigas y de Salto.

Según Razz et al. (1992) el contenido de PC está condicionado por la época del año, donde se registró los porcentajes más bajos durante el período seco. Esto se da probablemente debido al déficit hídrico que produce limitaciones en el crecimiento de la planta y en la fijación del nitrógeno, causando aumento de mortalidad de las hojas viejas y por ende un aumento en la proporción de material senescente, originando merma del nitrógeno en la planta y menor contenido de PC. Una situación similar se piensa que ocurrió en el ensayo.

4.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Cuadro 17. Análisis químico de suelo

Identificación de la muestra	pH	pH	%	*	**	**	**	**
	H2O	KCl	MO	P	K	Ca	Mg	Na
Bloque 2	5.7	4.6	0.5	9	0.11	2.7	0.6	0.13
Bloque 3	6.0	4.9	0.5	11	0.10	2.2	0.6	0.08
Bloque 1	5.6	4.6	0.5	24	0.10	0.7	0.4	0.10
Bloque 4	6.1	5.0	0.5	21	0.12	1.6	0.6	0.10

* Partes por millón (ppm.).

**Miliequivalentes cada 100 gramos de suelo.

La posición topográfica donde se sacaron las muestras corresponde a ladera alta y ladera baja. Las muestras tomadas de los bloques 2 y 3 corresponden a ladera alta y los bloques 1 y 4 corresponden a ladera baja. Las muestras se colectaron a una profundidad aproximada de 20 cm.

Según se mencionó anteriormente, los suelos predominantes del lugar de estudio pertenecen a Argisoles (García, 2014). El porcentaje de materia orgánica de las 4 muestras colectadas no tuvo variaciones, el análisis suministró un resultado de 0,5 % de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica promedio de suelos Argisoles de Uruguay es de 3,15 % (MAP. DSF, citado por Silva et al., s.f.). Comparando ese promedio con los valores de materia orgánica hallados en el experimento, quedan de manifiesto los valores muy inferiores en el ensayo. Esta diferencia está dada por los excesos de laboreo realizados por décadas en este predio.

Los estudios realizados en Argisoles, en condiciones de campo natural sin fertilizar o con historia de fertilización no reciente, dieron como resultado niveles de P Bray iguales a 13 ppm. y pH en agua de 5,3 (Hernández y Zalmavide, 1998). El análisis de suelo en el lugar del experimento dio en la ladera alta un promedio de P Bray de 10 ppm. y el análisis en la ladera baja dio en promedio 22 ppm. Esta diferencia hallada entre la parte alta y baja es seguramente debida al lavado de este nutriente hacia la parte baja, por el laboreo a favor de la pendiente habitualmente realizado en este cuadro.

El óptimo crecimiento de leucaena se da en suelos bien drenados, con valores de pH entre 7,5 (moderadamente alcalino) hasta pH 6,0 (ligeramente ácidos) (Tomar y Gupta, citados por Parrotta, 1992). En el ensayo, el pH de las distintas muestras analizadas se encontró por debajo del límite inferior de óptimo crecimiento.

No se observaron notorias diferencias con respecto a los cationes K, Mg y Na expresado en miliequivalentes cada 100 gramos de suelo. El catión Ca fue más elevado en las muestras colectadas en la ladera alta que las muestras colectadas en la ladera baja.

5. CONCLUSIONES

Esta tesis presenta la evolución en el crecimiento de árboles sembrados para establecer un sistema silvopastoril.

Durante el trabajo hubo problemas que afectaron el desarrollo del cultivo, las plantas en el vivero sufrieron podas en sus raíces, en la etapa pos trasplante el cultivo fue atacado por hormigas cortadoras y la producción de materia seca fue afectada por las condiciones climáticas destacadas por precipitaciones inferiores a los registros históricos.

Si nos enfocamos a la comparación entre especies, sin discriminar origen ni inoculación, la especie leucaena manifestó mayor crecimiento en altura sobre la especie angico.

De los distintos análisis que se hicieron respecto a la inoculación se concluye que:

- La comparación realizada entre la especie leucaena de origen Colombia no inoculada con la especie leucaena de origen Salto inoculada, se observó que no hubo diferencias en su crecimiento.
- La especie leucaena de origen Salto inoculada no se diferenció en altura con respecto a la especie leucaena Salto no inoculada.
- La evaluación de la especie de plantas leucaena de origen Colombia inoculada y no inoculada fue indistinta debido a que las plantas no diferenciaron su altura.
- Las plantas de la especie leucaena no tuvieron repuesta a la inoculación, las mismas no se diferenciaron en crecimiento a las plantas de leucaena no inoculadas.
- La especie angico de origen Artigas inoculada tuvo un crecimiento superior en altura respecto a la misma especie no inoculada.
- Al analizar la especie angico de origen Salto esta mostró que no hubo diferencia entre inocular o no.
- Al contrastar la especie angico sin discriminar origen, los angicos que fueron inoculados crecieron más en altura que los angicos no inoculados.

- Se destaca la importancia que demostró inocular las plantas a no inocularlas, en general sin discriminar especies y origen las plantas inoculadas crecieron más que las especies no inoculadas.

En cuanto al origen, la especie leucaena originaria de Colombia mostró crecimiento superior a la especie leucaena originaria de Salto. En angico por su parte, se destaca que las plantas de semilla proveniente de Artigas crecieron más en altura que las provenientes de Salto.

Respecto al análisis químico de la MS, nos enfocamos en analizar el valor proteico de las muestras, ya que la PC es considerada como nutriente elemental en la nutrición animal. Según Shelton y Dalzell (2007), para el engorde de ganado los niveles de PC deben ser superiores al 12 % de la MS de la muestra y en la medida que las pasturas maduran, la digestibilidad de la MS cae al igual que el porcentaje de PC. En relación a los valores registrados tanto la especie angico Uruguay como leucaena Uruguay los valores de PC se ubicaron en el entorno del 12 %, mientras que la leucaena Colombia superó el 15 % de PC.

Mediante las condiciones en que se desarrolló el experimento considerando los aportes de PC, la especie leucaena de origen Colombia presentó mayor porcentaje de PC que las especies leucaena de origen Salto y angico de origen Uruguay.

Hubo respuesta a la inoculación de angico en cuanto al crecimiento en altura de plantas, dentro de la especie las provenientes de Artigas inoculadas crecieron más con respecto al resto de los tratamientos realizados con angico.

Por lo tanto quedó evidenciado estadísticamente que en relación a la variable altura de planta parecería ser que los tratamientos más adecuados y recomendados para incorporar en estos sistemas de silvopastoreo intensivo son angico Artigas inculada, leucaena Colombia inoculada, leucaena Colombia sin inocular y leucaena Salto inoculada.

Debido a que la evaluación de campo se realizó durante nueve meses, en condiciones específicas de suelo, clima, arreglo de plantas, sería necesario incrementar la significancia en futuros trabajos donde se puedan incorporar nuevas variables.

6. RESUMEN

Este trabajo fue realizado en el departamento de Salto y el ensayo se llevó adelante en la casa del productor familiar Juan Ferrao en la localidad de Colonia Oscar Gestido. Las plantas fueron obtenidas mediante siembra de semillas en macetas. El trabajo de campo fue realizado desde el trasplante (agosto/2012) hasta abril de 2013. Consistió en realizar seis medidas de alturas de plantas en este periodo y culminó dicho trabajo con un análisis de la composición química de las plantas. Se evaluó el crecimiento de dos leguminosas arbóreas, con semillas de dos procedencias: leucaena (*Leucaena leucocephala*) de Colombia y Uruguay y angico (*Parapiptadenia rigida*), de los departamentos de Salto y Artigas. Además, a una parte de los plantines se le agregó un inoculante experimental. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, se realizaron medidas repetidas en el tiempo, las cuales fueron incorporadas dentro de los modelos de análisis. La unidad experimental estuvo conformada por 9 árboles. Se analizó la variable altura de planta. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y contrastes para analizar los efectos principales de especies, orígenes e inóculos. Para todos los análisis estadísticos se trabajó con un nivel de confianza del 95 %. Hubo tratamientos en los cuales se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de las especies y sus tratamientos mientras que en otros tratamientos no se encontraron diferencias significativas. La especie leucaena tuvo un crecimiento en altura significativamente superior de 20,02 cm. sobre la especie angico. Contrastando distintos tratamientos donde se llevó adelante inocular y no inocular, los resultados mostraron que: si comparamos, la especie leucaena Colombia no inoculada con la especie leucaena Salto inoculada las mismas no mostraron diferencias en altura. No se observaron diferencias en el crecimiento de la especie leucaena Salto inoculada y la especie leucaena Salto no inoculada. El resultado arrojado en cuanto a inocular y no inocular la especie leucaena Colombia, determinó que dicha especie no respondió al inoculante. La especie angico Artigas inoculada creció 33,35 cm. más que la especie angico Artigas no inoculada. La especie angico originaria de Salto no demostró diferencias significativas entre inocular y no inocular. La especie angico sin discriminar origen, tuvo un crecimiento mayor de 18,86 cm. en las plantas inoculadas sobre las plantas no inoculadas. La especie leucaena sin diferenciar su origen no demostró diferencias significativas en cuanto a si estaba inoculada o no. Las plantas que fueron inoculadas crecieron 11,79 cm. más que las plantas no inoculadas. La especie angico procedente de Artigas creció 12,71 cm. más que la especie angico de Salto. La especie leucaena originaria de Colombia mostró crecimiento superior de 6,84 cm. más que la especie leucaena originaria de Salto. El análisis químico de las muestras compuestas referido a PC mostró valores de 11,77 % en la especie angico originaria de Uruguay,

11,56 % en la especie leucaena originaria de Uruguay y 15,29 % en la especie leucaena originaria de Colombia.

Palabras clave: Sistemas de silvopastoreo intensivo; Angico; Leucaena; Agroecología.

7. SUMMARY

This work was done in the department of Salto and the test was carried out at the home of family producer John Ferrao in the town of Colonia Oscar Gestido. The plants were obtained by sowing seeds in pots. Fieldwork was conducted from transplant (August / 2012) until April 2013. It consisted of six measures make plant height in this period and this work culminated with an analysis of the chemical composition of plants. The growth of two leguminous trees was assessed, with seeds of two sources: leucaena (*Leucaena leucocephala*) of Colombia and Uruguay and angico (*Parapiptadenia rigida*), the departments of Salto and Artigas. Furthermore, some of the seedlings was added a experimental inoculant. An experimental design of randomized complete block was used, repeated measurements were performed in time, which were incorporated into the analysis models. The experimental unit consisted of nine trees. Variable plant height was analyzed. Analysis of variance (ANOVA) and contrasts was performed to analyze the main effects of species, origins and inocula. For all statistical analysis we worked with a confidence level of 95 %. There were treatments in which significant differences in the growth of the species and their treatments were found while in other treatments, no significant differences were found. leucaena species had significantly higher growth in height of 20.02 cm. on the species angico. Contrasting different treatments which was carried forward and not inoculate inoculation, the results showed that: if we compare the species leucaena Colombia not inoculated with the species leucaena Salto inoculated them showed no difference in height. No differences in the growth of the species leucaena Salto leucaena species inoculated and uninoculated Salto were observed. The result yielded as to inoculate and non inoculate the species leucaena Colombia, determined that the species did not respond to inoculant. The species inoculated angico Artigas grew 33.35 cm. more than the kind angico Artigas not inoculated. The native species of angico Salto showed no significant difference between inoculated and not inoculated. The angico species without discriminating origin, had a 18.86 cm. higher growth in plants inoculated on non-inoculated plants. leucaena species without distinguishing their origin showed no significant difference as to whether or not it was inoculated. The plants were inoculated grew 11.79 cm. more than non-inoculated plants. The angico Artigas specie grew 12.71 cm. more than angico Salto specie. The native of leucaena Colombia specie showed growth of 6.84 cm. higher than the leucaena species native to Salto. Chemical analysis of composite samples based on crude protein showed values of 11.77 % in angico native species of Uruguay, 11.56 % in the species native to Uruguay and 15.29 % in leucaena specie native to Colombia.

Keywords: Intensive silvopastoral systems; Angico; Leucaena; Agroecology.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altieri, M. 1999. Agroecología; bases científicas para una agricultura sustentable, Montevideo, Uruguay, Nordan-Comunidad. 338 p.
2. Balieiro, F.; Franco, A.; Díaz, P.; Souto, S.; Campello, E. s.f. Sistemas Agrossilvipastoris: a importancia das leguminosas arbóreas para as pastagens da regioao centro-sul. (en línea). San Pablo, s.e. 19 p. Consultado jun. 2014. Disponible en http://www.caprilvirtual.com.br/Artigos/sist_agrossilvipast_nutrir.pdf
3. Barros, M.; Briceño, E.; Canul, J.; Sandoval, C.; Solorio, J.; Ku, A. 2012. Sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. Bioagrociencias. 5 (2): 21-25.
4. Bresciano, D. 2004. La diversidad biológica y la agricultura. Montevideo, Facultad de Agronomía. 9 p.
5. Carranza, C.; Ledesma, M. 2005. Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido. (en línea). Revista IDIA XXI. no. 8: 230-236. Consultado jun. 2014. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/forest/alternativas01.pdf>
6. Castaño, J.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p (Serie Técnica no. 193).
7. Chiappe, M. D. 2002. Dimensiones sociales de la agricultura sustentable. In: Sarandón, S. ed. Agroecología; el camino hacia una agricultura sustentable. La Plata, Argentina, Ediciones Científicas Americanas. pp. 83-98.
8. Farrell, J.; Altieri, M. 1999. Sistemas agroforestales. In: Altieri, M. ed. Agroecología; bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Nordan Comunidad. pp. 229-243.
9. Faría – Mármol, J. 1996. Evaluación de accesiones de *Leucaena leucocephala* a pastoreo en el bosque seco tropical. 1. Disponibilidad de forraje. Revista de Agronomía (LUZ). 13 (2): 169 – 178.

10. Franco, A.; Souto, S. 1986. *Leucaena leucocephala*. Uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos. (en línea). EMBRAPA. Comunicado Técnico. 03 (2): 1-7. Consultado jun. 2014. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27127/1/cot002.pdf>
11. García, D.; Wencomo, H.; Miriam Gonzáles, M.; Medina, M.; Cova, L. 2008. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *leucaena leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad ruminal. Revista MVZ Córdoba. 13 (2): 1294 - 1303.
12. García, V. 2014. Caracterización, diagnóstico y propuestas técnicas con enfoque agroecológico en predios hortícola-ganaderos ubicados en la colonia "Presidente Oscar Diego Gestido". Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 139 p.
13. Gliessman, S. 2002. Agroecología; procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 359 p.
14. Gonçalves, I.; Favaro, J.; König, F.; Brun, E. 2011. Percepção dos alunos da UTFPR campus dois vizinhos sobre sistemas silvipastoris e sua importância na sustentabilidade da produção agropecuária. (en línea). Synergismus Scyentifica, UTFPR. 06 (1): 1-7. Consultado jun. 2014. Disponible en <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1243/788>
15. Gonzatto, M. 2009. Desenvolvimento e producao de citros em sistema agroflorestal. Tesis Ing. Agr. MSc. Porto Alegre, Brasil. Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Facultad de Agronomía. 109 p.
16. Hernández, J.; Zalmavide, J. 1998. Proceso de retención de fósforo por los suelos evaluados a través de parámetros de suelo y planta. Agrociencia (Montevideo). 1 (2): 48-63.

17. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Banco Datos Agroclimáticos, UY). 2013. Información del clima. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jun. 2014. Disponible en <http://www.inia.uy/investigación-e-innovación/unidades/GRAS/clima/Banco-datos-agroclimatico>
18. Izaguirre, P. 2005. Uruguay y sus recursos fitogenéticos en leguminosas. *Agrociencia* (Montevideo). 9 (1-2): 77-83.
19. Kielse, P.; Henz, E.; Paranhos, J.; Santos de Lima, A. 2009. Regeneracao in vitro de *Parapiptadenia rigida*. *Ciência Rural*. 39 (4): 1098-1104.
20. Mareque, C. 2011. Estudio de la nodulación en una colección de simbiontes de *Parapiptadenia Rigida* (Angico). Tesis Lic. Ciencias Biológicas. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Ciencias Biológicas. 47 p.
21. MGAP. CONEAT (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Comision Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra, UY). 2011. Sistema de información geográfico CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jul. 2014. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy>
22. Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Revista Avances en Investigación Agropecuaria* (Matanzas). 17 (3): 7-24.
23. Molina, I.; Donney`s, G.; Montoya, S.; Rivera, J.; Villegas, G.; Chará, J.; Barahona, R. 2015. La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras *Lucerna* alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. (en línea). *Livestock Research for Rural Development*. 27 (5): s.p. Consultado oct. 2015. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html>
24. Montagnini, F. 2015. Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. In: Montagnini, F.; Somarriba, E.; Murgueitio, E.; Fassola, H.; Eibl, B. eds. *Sistemas agroforestales; funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Cali, CIPAV. pp. 268-298.

25. Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A.; Solario, B. 2010. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. (en línea). *Forest Ecology and Management*. 261 (10): 1654-1663. Consultado jul. 2014. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112710005591>.
26. _____.; Xóchitl, M.; Calle, Z.; Chará, J.; Barahona, R.; Molina, C.; Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. *In*: Montagnini, F.; Somarriba, E.; Murgueitio, E.; Fassola, H.; Eibl, B. eds. *Sistemas agroforestales; funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Cali, CIPAV. pp. 59-102.
27. Olmos, F.; Sosa, M.; Balmelli, G.; Pérez Gomar, G. 2011. *Sistemas agroforestales*. Montevideo, INIA. 48 p. (Boletín de Divulgación no. 100).
28. Oyhantçabal, W. 2008. La imprescindible adaptación al cambio climático en el sector agropecuario uruguayo. (en línea). *Coyuntura Agropecuaria*. 50: 1-9. Consultado jul. 2015. Disponible en http://www.iica.org.uy/online/coyuntura_50_doc.asp
29. Parrotta, J. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Leucaena, tantan. Leguminosae (Mimosoideae) Legume family*. (en línea). New Orleans, s.e. 8 p. Consultado jul. 2014. Disponible en [http://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf052%20%20\(8\).pdf](http://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf052%20%20(8).pdf)
30. Polla, M. C. 1999. Experiencias en sistemas productivos agroforestales y silvopastoriles en Uruguay. *In*: Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible (1°, 1999, Cali). *Memorias*. Roma, FAO. pp. 1-9.
31. PMRN (Proyecto Manejo Sostenible de Recursos Naturales, PY). 2007. *Manual de agroforestería*. San Lorenzo, Paraguay. 45 p.
32. Quiñones, A. 2010. *Indicadores agroecológicos de sustentabilidad de sistemas de producción a campo natural*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 153 p.
33. Ramalho, P. 2002. *Angico-Gurucaia*. (en línea). EMBRAPA. Circular Técnica no. 58. 14 p. Consultado jun. 2014. Disponible en

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/304480/1/CT0058.pdf>

34. Razz, R.; González R.; Faría, J.; Douglas. Esparza, D.; Faría, N. 1992. Efecto de la frecuencia e intensidad de defoliación sobre el valor nutritivo de la *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. Zulia, Venezuela. Revista Facultad Agronomía (LUZ). 9: 109 -114.
35. Romero, N. 2012. La revolución en la toma de decisiones estadísticas; el p-valor. (en línea). Telos. 14 (3): 439-446. Consultado jul. 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99324907004>
36. Sarandón, S. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. In: Sarandón, S. ed. Agroecología; el camino hacia una agricultura sustentable. La Plata, Argentina, Ediciones Científicas Americanas. pp. 393-414.
37. _____.; Flores, C. 2014. Agroecología; bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. Buenos Aires, Edulp. 467 p.
38. Shelton, M.; Dalzell, S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. (en línea). Tropical Grasslands. 41: 174–190. Consultado jul. 2014. Disponible en http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/.../Vol_41_2007/Vol_41_0.
39. Silva, A.; Salvo, L.; Hernández, J. s.f. La materia orgánica del suelo. (en línea). s.n.t. 48 p. Consultado oct. 2015. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material/LA%20MOS-lucia26-3-15.pdf>.
40. Taulé, C.; Zabaleta, M.; Mareque, C.; Platero, R.; Sanjurjo, L.; Sicardi, M.; Frioni, L.; Battistoni, F.; Fabiano, E. 2012. Betaproteobacterial *Rhizobium* strains able to efficiently nodulate *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. (en línea). Applied and Environmental Microbiology. 78 (6): 1692–1700. Consultado ago. 2015. Disponible en <http://aem.asm.org/content/78/6/1692.full.pdf+html?sid=16399b46-18f6-4caf-a994-bdd426137a03>