

**Universidad Técnica Nacional
Sede Guanacaste
Ingeniería Agronómica con Énfasis en Riego y Drenaje**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura

Evaluación de la bacteria *Azospirillum brasilense* en la absorción de nitrógeno en pasto transvala (*Digitaria decumbens stent*) bajo riego, en Cañas, Guanacaste

**Carlos Javier Obando Solano
Lauriano Solano Herrera**

2022

Aprobación del Tribunal Evaluador

**Lic. Carlos Roberto Obando Contreras, Msc.
Tutor**

**Lic. José Miguel Mayorga Jiménez, MBA.
Msc.**

Lector

Ing. Alexandra Miranda Vindas,

Lectora

**Ing. María de los Ángeles Arias Alfaro, Msc
Directora de Carrera**

**Carlos Javier Obando Solano
Sustentante**

**Lauriano Solano Herrera
Sustentante**

Dedicatoria

Queremos dedicar esta tesis a nuestras familias, que han sido nuestro soporte a lo largo de este proceso de educación, que ha significado para nuestra vida la posibilidad de un futuro mejor.

A nuestros padres, que nos inculcaron valores que hoy nos identifican en el plano personal, laboral y académico.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, que ha sido nuestra guía en momentos de flaqueza y nos ha dado la fortaleza para salir adelante en este proceso que ya concluye, marcando nuestras vidas de manera positiva y la de nuestras familias.

A profesores y compañeros, que de una forma u otra colaboraron durante la elaboración de esta investigación.

A nuestros patronos (Colono Agropecuario S.A y Horizon Bioagro S.A) que nos apoyaron y motivaron a sacar adelante este trabajo que nos llena de satisfacción el día de hoy.

A la familia Alvarez Wong, propietarios de Agropecuaria La Gaviota por la oportunidad de realizar la investigación en su cultivo.

A todos, gracias.

Tabla de Contenidos

Aprobación del Tribunal Evaluador.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Resumen.....	ix
Capítulo I. Introducción.....	10
1.1. Introducción.....	11
1.2. Área de Estudio, Delimitación del Problema, Justificación.....	12
1.2.1. Área de Estudio.....	12
1.2.2. Delimitación del Problema.....	13
1.2.3. Justificación.....	14
1.3. Situación Actual de Conocimiento del Tema.....	15
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
Capítulo II. Marco Teórico Referencial.....	18
2. Marco Teórico Referencial.....	19
2.1. Sistemas de producción de pasto.....	19
2.1.1. Generalidades del Pasto Transvala.....	19
2.1.2. Preparación de Suelos.....	20
2.1.3. Establecimiento de sistemas de producción de pasto de corta.....	21
2.1.4. Manejo de malezas en sistemas de producción de pasto.....	22
2.1.5. Requerimientos nutricionales del transvala.....	23
2.2. Bacterias fijadoras de Nitrógeno.....	24
2.2.1. Fijación de Nitrógeno en Gramíneas.....	25
2.2.2. Tipos de Bacterias fijadoras de Nitrógeno.....	28
2.2.3. Azospirillum brasiliense.....	28
2.3. Análisis nutricional de <i>Digitaria decumbens</i>	30
2.3.1. Análisis bromatológicos de pasturas.....	31
2.3.2. Muestreo de suelos.....	33
2.3.3. Muestreos foliares.....	34

2.3.4.	<i>Métodos de Análisis de Laboratorio para análisis de foliares.</i>	35
2.4.	Interpretación de análisis químicos.	37
2.4.1.	Interpretación de Análisis de Suelo.	37
2.4.2.	<i>Interpretación de análisis foliares.</i>	39
2.5.	Análisis financiero de sistemas de producción.	42
2.6.	Determinación de rendimientos de campo en pasto Transvala	43
2.6.1.	<i>Análisis de precios de mercado de pacas de pasto Transvala.</i>	44
2.6.2.	<i>Análisis de costos de producción de pasto transvala para corta.</i>	44
Capítulo III.	Marco Metodológico	47
1.1	Paradigma de la investigación	48
3.2	Enfoque y tipo de investigación.	48
3.3	Delimitación del proyecto.	49
3.4	Hipótesis.	49
3.5	Localidad.	50
3.6	Tratamientos.	50
3.6.1	<i>Cultivo.</i>	50
3.6.2	<i>Producto por evaluar.</i>	50
3.7	Descripción de Tratamientos.	51
3.8	Diseño experimental.	51
3.9	Evaluación de variables.	52
3.10	Metodología de toma de datos.	55
3.11	Análisis de resultados.	58
3.12	Modelo estadístico	58
Capítulo IV.	Presentación y Análisis de Resultados	59
4.1	Análisis de varianza	60
4.2	Análisis de Correlaciones	75
4.3	Relación Costo Beneficio (tablas 19 y 20)	77
Capítulo V.	Conclusiones y Recomendaciones.	79
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones.	82
Capítulo VI.	Bibliografía	84
	y Anexos	84
6.1	Bibliografía	85

Índice de Tablas

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del Pasto Transvala.	23
Tabla 2. Tipos de bacterias fijadoras de Nitrógeno.....	28
Tabla 3. Interpretación de Análisis de Suelo.	39
Tabla 4. Interpretación de Análisis Foliares en gramíneas.	40
Tabla 5. Requerimientos nutricionales de algunas gramíneas tropicales.....	42
Tabla 6. Análisis económico de Producción de Pacas años 1 y 2.....	44
Tabla 7. Detalle de Actividades y Costos de producción de pacas Año 1.	45
Tabla 8. Detalle de Actividades y Costos de producción de pacas Año 2.	46
Tabla 9. Descripción de Tratamientos.	51
Tabla 10. Matriz Operacional.	55
Tabla 11. Análisis de Varianza de altura de plantas (cm) de <i>Digitaria decumbens stent</i> primer ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.....	60
Tabla 12. Análisis de Varianza NDVI (Spad) de <i>Digitaria Decumbens stent</i> primer ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	62
Tabla 13. Análisis de Varianza Biomasa (Kg) de <i>Digitaria Decumbens Stent</i> , primer ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	65
Tabla 14. Análisis de Varianza contenido de nitrógeno en suelo de <i>Digitaria decumbens stent</i> , primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.....	67
Tabla 15. Análisis de Varianza contenido de porcentaje de nitrógeno Foliar de <i>Digitaria decumbens stent</i> , primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	69
Tabla 16. Análisis de Varianza contenido de porcentaje de proteína seca de <i>Digitaria decumbens stent</i> , primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	71
Tabla 17. Análisis de Varianza relación hoja – tallo de <i>Digitaria decumbens stent</i> , primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.....	73
Tabla 18. Correlaciones Pearson de variables al azar.	75
Tabla 19. Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de <i>Digitaria decumbens stent</i> , primera cosecha. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.....	76
Tabla 20. Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de <i>Digitaria decumbens stent</i> , segunda cosecha. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.....	76
Tabla 21 Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de <i>Digitaria decumbens stent</i> , ambas cosechas. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste	77

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Comparativo de tratamientos variable Altura de plantas (cm) de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	60
Gráfico 2 Comparativo de Bloques variable Altura de plantas (cm) de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	61
Gráfico 3 Comparativo de tratamientos de variable NDVI de plantas de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	63
Gráfico 4 Comparativo de Bloques variable NDVI de plantas de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	63
Gráfico 5 Comparativo de tratamientos variable Biomasa (Kg) de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	66
Gráfico 6 Comparativo de Bloques variable Biomasa (Kg) de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	66
Gráfico 7 Comparativo de tratamientos variable Nitrógeno en suelo de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	68
Gráfico 8 Comparativo de Bloques variable Nitrógeno en suelo de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	68
Gráfico 9 Comparativo de tratamientos variable Nitrógeno foliar de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	70
Gráfico 10 Comparativo de Bloques variable Nitrógeno Foliar de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	70
Gráfico 11 Comparativo de tratamientos variable Proteína de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	72
Gráfico 12 Comparativo de Bloques variable Proteína de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	72
Gráfico 13 Comparativo de tratamientos variable Tallo y Hoja de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	74
Gráfico 14 Comparativo de Bloques variable Tallo / Hoja de <i>Digitaria decumbens</i> , primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.	74

Resumen

En la actualidad, la crisis de fertilizante ha desatado una necesidad inminente de encontrar alternativas útiles que ayuden a reducir la cantidad de nitrógeno que se aplica a los diferentes cultivos.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno han demostrado su capacidad de reducir el uso de fertilizantes en cultivos, principalmente en gramíneas.

El *Azospirillum brasilense* posee características únicas que lo hacen una alternativa muy eficiente para reducir las cantidades de nitrógeno en pasto transvala.

Esta sinergia da como resultado una reducción de hasta el 25% del nitrógeno sin alterar los rendimientos de cultivo, promoviendo una agricultura más rentable y en armonía con el medio ambiente.

Con esto se logra comprobar que es posible reducir los consumos de fertilizantes nitrogenados en momentos donde la tendencia mundial ha marcado un incremento desmedido en los costos de las materias primas, promoviendo una manera menos costosa de nutrir los cultivos, así como la producción con menor carga química.

Palabras clave:

Nitrógeno, Bacterias, *Azospirillum brasilense*, Fertilizante, pasto transvala

Capítulo I. Introducción

1.1.Introducción

La producción de pastos de corta con fines comerciales es una actividad que ha logrado un crecimiento en los últimos años en Costa Rica. Esto se debe al incremento de la ganadería estabulada y la disminución del consumo de pasto fresco en campo por influencia de factores como cambio climático, disponibilidad de riego, variedades de pastos poco adaptadas a la zona, entre otras.

Debido a lo anterior, en el país se buscan nuevas alternativas de producción eficiente donde se trata de optimizar al máximo los recursos y lograr además producciones altas que generen una rentabilidad adecuada. Un ejemplo de esto es el uso de fertilizantes nitrogenados, lo cual permite acelerar el crecimiento del forraje y mejorar el rendimiento de pacas por hectárea, lo cual permite en condiciones ideales obtener hasta tres cosechas al año, Sin embargo, esto conlleva también un mayor consumo de fertilizantes y agroquímicos, lo que aumenta los costos de producción e incluso llega a generar desbalance nutricional a nivel de suelo, agua y entorno.

Es por ello que el uso de fijadores de Nitrógeno se podría convertir en una práctica que permita una disminución de costos de producción gracias a la eficiencia que se podría lograr a través de una reducción de cantidades de fertilizante aplicadas, además de ser más amigable con el medio ambiente, ya que las altas cantidades de nitrógeno se asocian con emisión de gases de efecto invernadero así como la contaminación de cuerpos de agua con nitratos lo cual representa un riesgo para la salud y fomenta la contaminación con malezas acuáticas de ríos y humedales.

1.2. Área de Estudio, Delimitación del Problema, Justificación.

1.2.1. Área de Estudio.

El cantón de Cañas es conocido por su diversidad productiva, principalmente la siembra de algunas gramíneas como Arroz (*Oryza sativa*), Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y pastos de corta especialmente *Digitaria decumbens* (Pasto transvala)

Esta diversidad productiva ha cobrado protagonismo en el mercado de caña de azúcar y arroz bajo la modalidad orgánica y la producción de pasto para heno que se comercializa en otras zonas del país como Atlántico y Zona Norte.

La Finca La Gaviota es un proyecto familiar de producción de pasto Transvala que cuenta con aproximadamente 20 años de experiencia, ubicada en el distrito de Bebedero en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Esta propiedad se encuentra ubicada en la zona del Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), las aguas que utiliza este distrito provienen del Embalse Arenal, gracias al proceso de generación de energía eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) la cual se almacena en la Represa Magdalena ubicada en Sandillal de Cañas.

Esta zona de vida se caracteriza por tener dos estaciones climáticas bien definidas: una época seca comprendida entre los meses de diciembre a mayo, y una época lluviosa en los meses de junio a noviembre. Su vegetación es bosque tropical seco, con una predominancia de suelos de tipo franco arcilloso, con topografía plana en promedio, con elevaciones de 12 msnm como mínima, con promedio de precipitaciones de 1600 mm por año, de acuerdo con la estación meteorológica del Ingenio Taboga.

1.2.2 Delimitación del Problema.

La producción de pastos de corta presenta limitantes productivas y económicas como los costos de producción, recurso hídrico, capital de trabajo, comercialización, que someten al agricultor a tomar decisiones drásticas tales como; abandono de la actividad, reducción de áreas, entre otras. Estas relaciones tienen incidencia sobre tiempos de corta, rendimiento productivo y costos de producción, los cuales se convierten en variables críticas al momento de evaluar la rentabilidad de los proyectos. Es decir, para mejorar las ganancias es necesario poseer capacidad instalada, acceso a equipo y un mercado fijo para la cosecha de las pacas.

Debido a que el pasto requiere cosecharse en condiciones climáticas secas, esta labor no se puede realizar durante la época de invierno. Por tanto; se debe acelerar los tiempos de corta y lograr que los mismos no vayan en detrimento del rendimiento productivo. Para solventar esa situación los productores se ven obligados a aumentar el consumo de fuentes de fertilización nitrogenada de manera desmedida hasta en un 30%, en su búsqueda de acortar tiempos de cosecha y producir más en el menor tiempo posible.

Lo anterior tiene un gran impacto a nivel ecológico, económico y social, ya que esta práctica resulta insostenible en el tiempo. Por ello, se requiere fomentar una agricultura sostenible y económicamente sustentable. Esto se logra con el uso de implementación de alternativas que disminuyan el uso de fertilizantes químicos y que a su vez se mantengan los niveles de rendimientos promedios por hectáreas.

1.2.3. Justificación.

Los países ubicados en la zona intertropical como Costa Rica presentan condiciones climáticas muy marcadas. Por ese motivo, los sistemas de ganadería de carne extensivos e intensivos, cuidado de equinos y lecherías, establecen sus manejos alimenticios en la época de lluvia con pasto fresco, ya sea cosechado o pastoreo libre de los hatos. Sin embargo, durante la época seca se presentan problemas para sostener los rendimientos tanto en leche como ganadería de carne.

Esto ha venido a fomentar en la Región Chorotega la comercialización de pasto de corta transvala *Digitaria decumbens stent*, tanto para la producción de heno seco como forrajes para ensilaje. Esta práctica permite al productor tener reservas de alimento para los meses más críticos en donde se da un descenso marcado de rendimientos productivos y en casos más extremos la muerte de animales por falta de alimentos y agua. Adicionalmente, mucho de este pasto se comercializa en otras zonas del país como Meseta Central, Zona Norte y Atlántica, más específicamente para el cuidado de caballos.

Mediante estas prácticas se pretende aprovechar los excesos de producción de la época lluviosa y almacenarlos como materia seca o materia húmeda para su uso durante la época crítica. Esto representa un seguro adicional que permite la sostenibilidad de la actividad, pues los productores no se ven obligados a mover los animales a otras zonas.

La investigación realizada tuvo como objetivo comprobar la efectividad de la bacteria *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 en la fijación del nitrógeno en pasto de corta para la producción de heno. De ser así, esto podría repercutir positivamente en los costos de producción, mejorar la rentabilidad y a su vez generar un menor impacto ambiental, debido al uso inadecuado de las fuentes nitrogenadas sintéticas.

1.3. Situación Actual de Conocimiento del Tema

Actualmente, el sector productivo de pasto pasa por situaciones particulares que marcan su actividad en los ámbitos agrícolas económicos y ecológicos. La producción de pasto en zonas aledañas al Distrito de Riego Arenal Tempisque, específicamente en el cantón de Cañas, presenta complicaciones en cuanto al manejo de malezas acuáticas, las cuales contaminan la calidad de los pastos. Estas han invadido además canales de riego, manglares, lagos y ríos debido a los aportes de nitrógeno de las aguas que son devueltas al canal. Debido a esto, la problemática se ha vuelto inmanejable en algunas zonas.

Por otra parte, los costos de producción han aumentado con el paso de los años de manera acelerada. Por esta razón, resulta de suma importancia el adecuado uso de los recursos y su aprovechamiento para la merma de los gastos, por ende, el aumento de la rentabilidad. Todo esto sin dejar de lado la disminución de los aportes de nitritos y nitratos a los suelos, mantos acuíferos y masas de agua superficiales.

La fijación de nitrógeno es un concepto que data del siglo XIX. Su conocimiento y manipulación resulta fundamental a nivel de agricultura en general. Entre los años 1886 y 1888 Hellriegel y Wilfarath determinaron una relación estrecha entre las plantas leguminosas y la fijación del nitrógeno. Esto motivó a iniciar el estudio de las relaciones simbióticas entre algunos tipos de plantas y su capacidad de captar este elemento y fijarlo al suelo. Años más tarde Beijerinck, 1888, descubrió la relación entre algunos organismos que se encontraban en los nódulos de esas leguminosas y la captación de nitrógeno. Con este hallazgo nombró a tales organismos como *Bacillus radicolica*, hoy conocido como *Rhizobium*. (Hatfield & Follett, 2008).

En Costa Rica se ha avanzado con aplicaciones de *Azotobacter* en cultivos como caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) por parte de empresas como Ingenio Taboga, además de micorrizas en arroz (*Oryza sativa*, L) promovido por la Corporación Arrocera Nacional, que han propiciado disminución del uso de fuentes de fertilización nitrogenadas. En la actualidad se han detectado importantes relaciones de otras bacterias en la fijación de nitrógeno como por ejemplo *Azospirillum brasiliense*. Además, la producción orgánica de caña de azúcar, arroz y sábila, entre otros, ha generado un mayor crecimiento del uso de biofertilizantes y bacterias benéficas que brindan un máximo provecho a las reservas de los suelos y aportes orgánicos.

No obstante, lo anterior, en Costa Rica existe poca información generada sobre el uso de estas bacterias fijadoras de nitrógeno en general. La información se vuelve más escasa en investigaciones sobre pastos. Sin embargo, en otros países se conoce que existe un uso importante de *Azospirillum brasiliense* con este fin en gramíneas y cereales de importancia económica, en busca de maximizar las aplicaciones de fertilización nitrogenada.

1.4. Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

- Determinar el efecto de *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 en la absorción de nitrógeno en pasto transvala (*Digitaria decumbens stent*) en condiciones bajo riego, mediante evaluaciones de campo y laboratorio que permitan la disminución de la carga química aportada en la fertilización edáfica en finca La Gaviota, Paso Hondo, Cañas, Guanacaste.

1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Evaluar el contenido de nitrógeno en pasto Transvala (*Digitaria decumbens stent*) mediante análisis foliares de laboratorio para determinar la eficiencia de la bacteria *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001.
2. Determinar el comportamiento agronómico de pasto transvala (*Digitaria decumbens stent*) a través de mediciones biométricas y bromatológicas para la evaluación del efecto de la bacteria sobre la planta.
3. Analizar económicamente los rendimientos de cada uno de los tratamientos, tomando como base la relación costo – beneficio, para valorar la rentabilidad productiva en cada tratamiento evaluado.

Capítulo II. Marco Teórico Referencial

2. Marco Teórico Referencial

2.1. Sistemas de producción de pasto.

La producción de forraje se caracteriza por períodos de altos rendimientos, estos generalmente se presentan durante la época lluviosa, durante este periodo las condiciones les permiten a los productores contar con el alimento para su ganado, gracias a la abundancia de forrajes. Sin embargo, la situación cambia drásticamente al iniciar la época seca, en ese momento se presentan problemas de sobrepastoreo de las fincas, ocasionando una disminución en la producción de leche, disminución de ganancias de peso y retraso en el desarrollo de los animales, lo cual ha generado para el sector ganadero pérdidas económicas importantes (Morales, 2003).

Es en este periodo que los ganaderos buscan fuentes alternas y económicamente viables de alimentación que permitan mantener los ciclos productivos durante todo el año. Ejemplo de esto es el ensilaje de gramíneas como sorgo y maíz, o en su defecto pacas con subproductos de cosecha de arroz (paja) y el pasto de corta. Estas prácticas han tomado mucho valor debido a los cambios climáticos como el Fenómeno del Niño. Además, se intensifican en zonas en donde no se cuenta con acceso a riego y se desea mantener niveles de producción aceptables que permitan a los ganaderos la sobrevivencia en su actividad comercial (Estrada, 2002).

2.1.1. Generalidades del Pasto Transvala.

El pasto transvala (*Digitaria decumbens stent., cv.*) fue introducido a Costa Rica en la década de los setenta. En ese momento se contaba en el país con otras especies como el pasto pangola (*Digitaria eriantha*), mismo que disminuyó considerablemente su área debido a problemas de susceptibilidad a plagas y enfermedades como nematodos y virus. Por su parte,

el pasto transvala no presenta estas complicaciones debido a que es más rústico y con mejor adaptación. Prácticamente inmune a este tipo de ataques (Morales, 2003).

Por otra parte, el sistema de reproducción con semilla vegetativa le ha brindado al pasto transvala una mayor capacidad de propagación y poblamiento más eficaz de los terrenos. Además, se ve favorecido por un denso sistema de tallos y hojas muy finos que lo convierten en uno de los materiales más usados en la actualidad para la henificación. De igual manera, puede utilizarse para pastoreo directo, pues es bastante resistente al pisoteo y la sequía (Morales, 2003).

Si bien esta especie de pasto se encuentra establecida en varias zonas del país, su predominancia se da en la región Chorotega. En este territorio se utiliza principalmente para heno, gracias a su resistencia a las épocas secas y adaptabilidad a sistemas intensivos de cosecha como los usados en el Distrito de Riego Arenal Tempisque. Se ha determinado que los sistemas de henificación tradicionales carecen de calidad nutricional si se comparan con otros como las pacas de arroz, sorgo y especies de tipo brizantha. Sin embargo, sus altas productividades compensan este factor negativo. (Morales, 2003).

Por esta razón, los sistemas de producción con pasto transvala han permitido mejorar los rendimientos productivos, además de mejorar la calidad de los pastos gracias al uso de fertilizantes y herbicidas. Esto les ha permitido estar al mismo nivel de otros materiales usados para la alimentación.

2.1.2. Preparación de Suelos.

Antes de iniciar la siembra de pasto transvala se debe iniciar con un control químico de malezas utilizando normalmente glifosato en dosis de 3 litros por hectárea, mezclado con

metsulfuron metyl a 10 gramos por hectárea o 2,4-D a una dosis de 2 litros por hectárea. Esta práctica garantiza un agotamiento del banco de malezas o especies endémicas antes de la mecanización del terreno. Posteriormente se realiza la mecanización realizando dos pases de rastra fuerte y uno liviano. Esto permite, además de preparar el terreno para la aplicación de la semilla y el fertilizante, culminar el control de las malezas mediante el volteo del suelo al exponer las raíces de la maleza, lo que hace que estas sean erradicadas.

2.1.3. Establecimiento de sistemas de producción de pasto de corta.

Posterior a la preparación del terreno, si la siembra se realizará en época seca, se debe seleccionar una fecha adecuada especialmente si no se cuenta con un sistema de riego. Idealmente este proceso debe realizarse en época lluviosa, ya que las lluvias permiten una mejor incorporación de la semilla vegetativa y es más efectiva que la siembra con riego. Habitualmente, los productores de la zona aprovechan la época después del veranillo y de la canícula, puesto que para este período las lluvias se han estabilizado, lo cual brinda un seguro adicional de no perder germinación de semilla.

Con respecto a la semilla, se recomienda que se encuentre en un estado de madurez donde presente estolones enraizados. Esto se puede conseguir entre los 50 a los 60 días de rebrote bajo condiciones de lluvias regulares de invierno o bajo riego y con la ayuda de alguna fuente de fertilizante alta en fosforo que estimule el desarrollo radicular de la planta. Normalmente se utilizan fórmulas comerciales como: 10-30-10, 12-24-12 o DAP 18-46-0 aplicados en una sola dosis, de la tercera a la cuarta semana de rebrote del semillero.

Para sembrar una hectárea se requieren alrededor de 60 pacas de semilla vegetativa de pasto transvala (*Digitaria decumbens stent*) o bien entre 4500 - 6000 kg de material verde. De una hectárea de semilla se pueden sembrar de 6 a 8 ha de este pasto. El método de siembra

utilizado para la semilla es “al voleo”, la cual es una técnica manual donde se esparce la semilla sobre el terreno húmedo y se incorpora con una rastra liviana. Con esto se espera que durante el período lunar recomendado se den las condiciones de humedad necesarias para que se dé una adecuada germinación del material vegetativo (Morales, 2003).

2.1.4. Manejo de malezas en sistemas de producción de pasto.

El manejo de malezas es una de las prácticas de mayor eficacia, ya que de esta dependerá la calidad del heno que se produzca. Se realiza a partir del tercer mes de aplicada la semilla, momento en el cual ya se ha desarrollado su sistema radicular, lo cual le permite al pasto su debido anclaje y aprovechamiento de los nutrientes. Normalmente se tiene mayor presencia de arvenses y algunas gramíneas como *Rotboellia cochinchinensis*, *Dichanthum aristatum* y *Leptochloa filiformis*.

Para el manejo de malezas se cuenta tanto con métodos químicos como culturales. Los más efectivos resultan ser los químicos, ya que se cuenta con herbicidas a base de 2,4-D con otros complementos como Aminopyralid, Picloram y Metsulfuron-metyl para el manejo de arvenses. Además, existe la posibilidad del control mecánico o cultural (chapia o arranque) que no se descarta en su totalidad como una posibilidad cuando la contaminación es leve y no amerita la aplicación de un herbicida.

En cuanto a gramíneas, se ha descubierto que el transvala cuenta con una resistencia aceptable al uso de un graminícola muy específico de arroz llamado Bispiribac sodio. Este permite que al aplicar una dosis de 0.150 litros /ha se tenga un adecuado control de gramíneas. Lo anterior es relevante puesto que no se causa un daño significativo al pasto ya establecido.

2.1.5. *Requerimientos nutricionales del transvala.*

Las gramíneas en general responden de manera inmediata a las aplicaciones nitrogenadas. En este caso los pastos no son la excepción. Sin embargo, se debe tener un balance adecuado que permita al cultivo desarrollar su máximo potencial. Es por ello que se sugiere agregar fertilización a base de fósforo y potasio, con niveles que rondan de 80 a 120 kg de nitrógeno y 60 kg de fósforo. Con respecto a potasio, se busca suplir una cantidad que permita el adecuado balance con el nitrógeno que podría estar sobre los 60 kilogramos por hectárea. El nitrógeno puede dividirse y realizar una primera aplicación con la mitad del producto a toda la siembra y una segunda de 30 a 40 días después de sembrado. El fósforo debe aplicarse por completo al momento de la siembra. Se recomienda aplicar 40 kg de nitrógeno por ha después de cada pastoreo o corte (Valdés *et al*, 1992).

En la zona Chorotega se ha venido realizando un manejo integrado en busca de mejorar los rendimientos de cantidad de pacas por hectárea. Esto ha obligado a productores y casas comerciales desarrollar un mayor dominio técnico con respecto al manejo de la fertilización de sus pastos.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del Pasto Transvala.

Kilogramos de Elemento por Hectárea						
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO	SiO
120	60	60	5	15	15	20

Este programa se combina con el uso de fertilizantes foliares que se aplican en mezcla con los herbicidas. En esta aplicación se busca suplir los microelementos de importancia como el

Zn, B, Mo mezclados con reguladores de crecimiento como Auxinas, Citoquininas y Giberelinas.

2.2. Bacterias fijadoras de Nitrógeno.

Dentro de las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno existen dos grupos de organismos que son de mayor importancia. El primer grupo está conformado por bacterias móviles del suelo, estas se fijan en la zona radicular de las plantas gracias a las sustancias que estas exudan. Este grupo se conoce como quimioorganotrofos aerobios que comúnmente se han llamado rizobios. A este grupo pertenecen *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas de climas templados y subtropicales), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces) y *Bradyrhizobium* (nodula raíces de soja) (Paredes, 2013. p. 14).

Se tiene evidencia que a nivel de suelo existen otros formadores de nódulos de fijación dudosa de nitrógeno como son *Phyllobacterium* (forma nódulos en tallos y hojas de mirsináceas y rubiáceas) y *Agrobacterium*. El segundo grupo está formado por Actinomicetos (bacterias Gram positivas) que nodulan raíces de muchos árboles y arbustos (Paredes, 2013, p. 14).

En este grupo se encuentra otra especie de bacterias filamentosas las cuales viven en simbiosis con plantas actinorricas (angiospermas capaces de formar nódulos) y que pertenecen a un género llamado *Frankia*. Este tipo de bacterias no forman micelio aéreo y sus esporas son inmóviles, por lo que su movilidad a nivel de suelo es muy reducida. Dentro de ellas se ha descubierto que nodula los géneros *Alnus*, *Myrica*, *Casuarina*, entre los más destacados. Esta nodulación es de gran importancia para plantas leñosas perennes, porque aporta nitrógeno al suelo en zonas pobres o repobladas (García, et al, 2009).

Entre las plantas simbiotes se pueden mencionar como las más importantes las leguminosas (Fabáceas), ya que a través de la historia han sido de alta importancia para la humanidad como fuentes de alimento. Tal es el caso de lentejas, guisantes y alubias, que son utilizadas para el consumo humano. Además, en la nutrición animal se da el uso de; alfalfa (*Medicago sativa*), arvejas (*Pisum sativum*) y trébol (*Trifolium sp*). También han servido como fuente de madera para viviendas y leña, con especies como; Acacia (*Acacia sp*) y Guage (*Leucaena sp*), además, también son utilizadas para la colonización de suelos pobres o con deficiencia de nutrientes con especies como; retama, tojo, escoba (Paredes, 2013).

2.2.1. Fijación de Nitrógeno en Gramíneas

Si bien se conocen las pérdidas que existen a nivel de suelo del nitrógeno por factores como temperatura, humedad y radiación, expresadas como desnitrificación y volatilización, también existen algunos procesos que facilitan ganancias de nitrógeno. Estas son conocidas como; fertilización, fijación no biológica de nitrógeno (deposición por lluvias), fijación biológica asimbiótica, fijación biológica simbiótica y deposición de residuos vegetales. Este concepto de la fijación del nitrógeno es manejado desde el antiguo imperio romano, ya que ellos realizaban rotación cada 4 años con leguminosas, lo cual se conoce en la actualidad como mejorar la disponibilidad de este elemento (Ortega et. al. 2015).

La mayor parte del nitrógeno en los ecosistemas proviene de la fijación biológica producida por las bacterias. Estas bacterias son conocidas como diazotróficas las cuales realizan fijación de nitrógeno atmosférico en formas más disponibles como el amonio y la de mayor importancia es el *Azospirillum*.

Rangel et al (2011), resumen algunas de las funciones de *Azospirillum* aprovechables en la agricultura:

- Síntesis de fitohormonas que mejoran el crecimiento de la raíz.
- Fijación de nitrógeno.
- Realiza funciones de biocontrol.
- Mejor aprovechamiento de agua y nutrientes.
- Incremento de rendimientos, productividad.

En cuanto a los aportes de nitrógeno por las lluvias, estos se producen por descargas eléctricas y tormentas en la atmósfera, que hacen posible la oxidación del nitrógeno molecular, convirtiéndolo en ácido nítrico (HNO_3). Esta transferencia dependerá de la intensidad de cada una de las descargas, la cantidad de lluvia, y la contaminación que exista en la atmósfera. (Villalobos, 2006)

La fijación biológica del nitrógeno se puede producir gracias a la acción de las bacterias de vida libre, aquellas capaces de completar su ciclo de vida de manera independiente de una planta, ya sean anaeróbicas o aeróbicas. Dentro de las anaeróbicas se podría citar las aeróbicas obligadas como *Azotobacter* spp, *Beijerinckia* sp, y las anaeróbicas obligadas como *Clostridium*, *Pasteurianum*, *Klebsiella* spp, *Desulfovibrio* sp. Estos generalmente son heterótrofos con respecto al carbono, y requieren de azúcares, celulosa o almidón que extraen del suelo para lograr su desarrollo en la zona radicular de los cultivos (Figuroa, 2004).

Además, existe otro tipo de fijación de nitrógeno también conocida como fijación simbiótica. Esta es la que realizan los microorganismos que se encuentran en asociación con plantas u hongos. Si bien ocurre generalmente en la rizosfera, también puede presentarse a nivel de las hojas y tallos. (Figuroa, 2004).

Dentro de los organismos fijadores de nitrógeno, uno de los más importantes es el género *Rhizobium*, la cual se asocia con plantas de las subfamilias Papilionoideae, Cesalpinioideae, y Mimosoideae. El ciclo de vida de estas bacterias se adapta al ritmo de consumo de la planta hospedera, por lo que de este factor dependerá la fijación o aprovechamiento que se dé (Figuroa, 2004).

Según Villalobos (2006), las cantidades de Nitrógeno fijadas en el proceso simbiótico son muy variables, estas pueden presentar valores de 20 a 1000 Kg de N ha⁻¹ en un ciclo de producción. Estas dependen de los factores anteriormente citados, mientras que su absorción se puede dar de forma nítrica o amoniacal y esto sucede de acuerdo con; la edad de la planta y según su especie, pH del suelo, composición y la pluviometría de la zona.

2.2.2. Tipos de Bacterias fijadoras de Nitrógeno.

Tabla 2. Tipos de bacterias fijadoras de Nitrógeno.

Fijadores Libres de Nitrógeno		
Características fisiológicas	Género	Capacidad fijadora de Nitrógeno
Bacterias Heterotróficas		
Aeróbicas	<i>Azotobacter, Beijerinckia, Pseudomonas, Azospirillum, Methylococcus, Methylobacter</i>	Fijan en presencia de O ₂ pero con muy baja eficiencia: 05 a 1 Kg N ha año.
Aerobios Facultativos	<i>Bacillus, Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Clostridia</i>	Fijan sólo en ausencia de O ₂ : 1 Kg N ha año ⁻¹
Bacterias Autotróficas Fotosintéticas	<i>Rhodospseudomonas</i>	Fijan sólo en ambientes pobres en O ₂ .
Quimio autotróficas	<i>Chromatium, Rhodospirillum</i>	
	<i>Thiobacillus</i>	
Cianobacterias (antes algas azul verdosas)		
Filamentosas con heterocistos	<i>Anabaena, Nostoc</i>	10 a 50 Kg N ha año ⁻¹
Filamentosas heterocistos	<i>Plectonema, Trichodesmium</i>	Fijan solo en ambientes pobres en O ₂ .
Unicelulares	<i>Gloeocarpa</i>	Fijan en presencia de O ₂ .
Fijación asociativa		
Rizósfera de <i>Paspalum noratum</i>	<i>Azotobacter paspali</i>	5 a 10 Kg N ha año.
<i>Digitaria decumbens</i>	<i>Azospirillum lipoferum</i> <i>Azospirillum brasilense</i>	Hasta 30 Kg N ha año.
<i>Oryza sativa</i> (arroz)	<i>Azotobacter, Beijerinckia, Pseudomonas, Arthrobacter</i>	20 a 50 Kg N ha año.
Filosfera de Plantas		Parece ser muy baja

Fuente: *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* (p. 13) por María Carolina Paredes, 2013, Universidad Católica de Argentina.

2.2.3. *Azospirillum brasiliense*

El *Azospirillum brasiliense* representa una de las bacterias más estudiadas, dada su capacidad de promotora de crecimiento. Se utiliza principalmente en pastos y cereales de todo el mundo, especialmente bajo condiciones de climas tropicales. Es considerada como la

base de las principales investigaciones sobre fijación de nitrógeno, además de su capacidad de promover fitohormonas dentro de la planta, también tiene como principales características el incremento de la biomasa total seca, unido al aumento del nitrógeno del follaje. Además, influye positivamente la germinación de las semillas, e indirectamente, todos estos efectos van de la mano con el incremento del sistema radical de la planta, aumentado no solo en longitud sino también en número de raíces laterales, lo cual favorece la absorción de agua y sales minerales. (Vital & Mendoza, 2014)

Según Caballero-Mellado (s.f.) las bacterias del género *Azospirillum* han recibido mucha atención por la capacidad para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales. Actualmente se reconocen seis especies: *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense*, *A. largimobile*.

El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias. Las principales características son su forma es vibroide, el pleomorfismo y su movilidad en espiral.

Sus plásmidos tienen funciones vinculadas a la biosíntesis de productos de importancia en el desarrollo de las plantas como es el caso del p90 que está involucrado en la biosíntesis del ácido indol acético. *Azospirillum* tiene la capacidad de producir auxinas, citoquininas y giberelinas en medios de cultivo.

Algunas cepas de *Azospirillum* prefieren zonas de baja concentración de oxígeno para su crecimiento y multiplicación. Esto es importante para mejorar la fijación de nitrógeno pues se expresa más la actividad de la nitrogenasa.

Algunas bacterias del género *Azospirillum* tiene la capacidad de producir sideróforos, que es un compuesto químico, cuya función permite transformar el hierro insoluble (Fe_3^+) en

formas de transporte activo (Fe_2^+), esta característica es importante en zonas donde la presencia del elemento es escasa. Además, los sideróforos, tienen la capacidad de suprimir el crecimiento de fitopatógenos.

Algunos estudios han demostrado la capacidad de adherirse a los sitios de emergencia de la raíz y puede causar la elongación y el aumento de la superficie de la raíz. Eso se traduce en una mayor capacidad de las plantas para absorber nutrientes, así como mayor desarrollo de la parte aérea de las plantas. También se han reportado incrementos en el contenido de N, P, K, y otros minerales en las plantas, incluso se reporta entre 5 y 30% de aumento en los rendimientos de los cultivos. Frecuentemente se observó que la inoculación de los cultivos con *Azospirillum* permite reducir en 40-50% el nivel de los fertilizantes sin que exista disminución en el rendimiento de la cosecha.

2.3. Análisis nutricional de *Digitaria decumbens*.

En la actualidad existen diferentes métodos para conocer el estado nutricional de las plantas, uno de los más utilizados es el análisis foliar este consiste en realizar un análisis químico de una muestra de hojas tomadas del cultivo, se tomarán muestras de diferente estado vegetativo y en diferentes zonas de la planta. El contenido nutricional de las hojas se puede ver afectado por diferentes factores como, por ejemplo; el estado de desarrollo de la planta, condiciones climatológicas, contenido nutricional del suelo, grado de compactación de este que permita el adecuado desarrollo radicular, entre otros (Bertsch, 2007).

En ese sentido, el análisis foliar representa el análisis de todos esos factores al momento de la toma de las muestras. Este permite además su comparación con niveles críticos previamente establecidos que generarán los conceptos necesarios para determinar los casos

de deficiencia, excesos y toxicidades que se puedan estar presentando a nivel del cultivo. De ahí su importancia como método de análisis de nutrientes en pasto.

2.3.1. Análisis bromatológicos de pasturas

Los análisis bromatológicos tienen como objetivo la determinación de los aspectos relacionados a la calidad nutricional de los forrajes y alimentos para la nutrición animal, en este caso pastos, según información del Centro de Investigación en Nutrición animal de la Universidad de Costa Rica (CINA), la importancia radica en la toma de decisiones basadas en resultados científicamente comprobables que permitan la producción de forrajes de alto valor energético para el cuidado de rumiantes.

Dentro de los principales análisis que se pueden obtener para apoyar la producción de pasturas de calidad se podrían mencionar:

Fraccionamiento de fibras: Desde el punto de vista nutricional la fibra representa un punto de gran importancia en la nutrición animal, esta representa la fracción orgánica que es mas en los alimentos la mas difícil de digerir. Para su determinación se desarrolló una metodología en los años setenta gracias a investigaciones de Peter Van Soest en la cual se busca determinar la fracción fibrosa de los forrajes, basando sus estudios en las paredes celulares compuestas de carbohidratos estructurales, polímeros y otras sustancias como lignina, celulosa y hemicelulosa las cuales se encuentran en cantidades variables dependiendo del tipo de material vegetal y la edad de este.

Esta fibra es de suma importancia en el manejo de la dieta de los animales, ya que mejora considerablemente el funcionamiento y salud del rumen, sin embargo su exceso provocaría

el llenado físico y la disminución del consumo de materia seca que es la procion mas nutritiva del pasto. (Centro de Investigación animal de la Universidad de Costa Rica [CINA], (2021)

Determinación de Fibra Detergente Neutro-tratada con amilasa: Según el CINA (2021) este método está basado en la solubilidad de un agente tensioactivo, a través de una disolución neutra de sulfato lauril sódico, mediante los cuales se obtiene una porción soluble que consiste en carbohidratos solubles, pectinas incluidas, la mayoría de proteínas, lípidos y sustancias minerales solubles.

El residuo de este proceso es el que se compone de los agentes fibrosos de las células de los componentes vegetales (hemicelulosas, celulosa, lignina, sustancias minerales insolubles y algunas proteínas de las paredes de la célula), mencionados anteriormente y que son también analizados.

Determinación de Fibra Detergente Ácido: El método está basado en la solubilidad de un agente tensioactivo, por medio de una solución ácida. Con este método se obtiene una porción soluble que consiste en hemicelulosas proteínas, lípidos y sustancias minerales solubles.

El residuo fibroso está compuesto por celulosa, lignina y por las sustancias minerales insolubles en un ambiente ácido, esto se define como fibra detergente acido (FDA). La diferencia entre FDN (fibra detergente neutra) y FDA (fibra detergente ácida) generalmente está determinado por la hemicelulosa en alimentos de origen vegetal. (CINA, 2021, párr.11)

Contenido de Proteína de Pastos: Según datos de Intagri entre un 85 – 90% del contenido del nitrógeno celular de las plantas forrajeras, es proteína bruta, la cual es sintetizada a partir

de los aminoácidos. El nitrógeno de los forrajes viene del nitrógeno que se encuentra en suelo y del nitrógeno ya sea aplicado o fijado y el que se encuentra en el aire (simbiosis).

Las gramíneas poseen diferentes niveles de proteína que pueden oscilar entre 3 – 35% de proteína bruta. Las proteínas están constituidas, por un 16 % de Nitrógeno en promedio. De tal forma que si se conoce la cantidad de éste que posee un alimento se puede inferir su contenido proteico de proteína, es por ello que es de gran importancia el adecuado manejo con un balance nutricional basado en análisis tanto de suelo, como de cultivo, y análisis químico.

Esto permite lograr producir fuentes de alimento de alto valor nutricional que se traduce en mejores rendimientos tanto de leche como de carne. Para conocer los niveles de Proteína del pasto es necesario conocer el contenido de nitrógeno de este según Kjeldal una vez evaluado el contenido nitrogenado se multiplica el valor obtenido por 6.25, para transformar ese 16 % de nitrógeno en cantidad de proteína (Bassi, 2006).

2.3.2. Muestreo de suelos.

En relación con los análisis químicos de suelos, existen diversas metodologías o soluciones extractoras usadas en la actualidad, todas ellas buscan la manera más exacta de determinar los contenidos nutricionales en la solución de suelo. Para realizar un análisis químico de suelos, esto es necesario realizar un muestreo aleatorio que sea lo suficientemente representativo y permita tener información más precisa a la hora de tomar las decisiones según los resultados que se obtengan.

Lo ideal es realizar una técnica de cuarteo de las muestras con el fin de reducir el tamaño a un máximo de un kilogramo de peso. Esto debido a que el laboratorio solamente toma una

porción mínima de esta para realizar los análisis requeridos. De ahí la importancia de obtener una muestra homogénea y representativa de suelo para el diagnóstico de fertilidad (Bertsch, 2007).

2.3.3. Muestreos foliares.

Los análisis foliares o de tejidos vegetales son el complemento indispensable a los análisis de suelo, puesto que ambos son necesarios para lograr un buen diagnóstico. En la actualidad se cuenta con la tecnología idónea que permite ajustar los niveles de fertilización de acuerdo con los resultados de los cruces entre análisis foliares, de suelo e incluso imágenes espectrales de satélites o drones. Según los resultados emitidos por estas variables se va a determinar el plan de enmienda a seguir, es por ello que tanto el análisis foliar como el de suelo terminan siendo uno complemento del otro. (Schweizer, 2011).

Para realizar un muestreo foliar adecuado, se debe seguirse una serie de pasos. Inicialmente, la muestra debe provenir de sectores homogéneos, los sectores heterogéneos deberán muestrearse por separado, es recomendable tomar muestras separadas de acuerdo con las variedades existentes. Cada muestra no debe abarcar más de 10 hectáreas, aun tratándose de una población homogénea y de una misma variedad. (Centro Tecnológico Agropecuario Cinco Villas, 2009)

La toma de muestras se debe realizar en zigzag o en forma de x para garantizar aleatoriedad. De igual manera, se debe recolectar en bolsas de papel limpias, y llevarse al laboratorio. Esto debe realizarse idealmente de manera aislada de la temperatura ambiente, con el fin de no alterar las muestras. Por su parte, es necesario trasladar las muestras frescas manteniendo una cadena de frío no inferior a 5 °C, que impida su congelamiento, o en su

defecto realizar un proceso de secado controlado. (Centro Tecnológico Agropecuario Cinco Villas, 2009).

2.3.4. Métodos de Análisis de Laboratorio para análisis de foliares.

El análisis químico es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización, ya sea de suelos o foliar. Permite al profesional tener un panorama claro y certero del estado de nutrición de los cultivos. En la actualidad existen diversos laboratorios y soluciones extractoras que, de acuerdo con lo que se desee observar, pueden ser buenas alternativas, (Díaz-Romeu & Hunter, 1978).

Los análisis de suelos parten de la teoría de que siempre existirá un “nivel crítico” que estará en función del método que se utilice y la respuesta que se obtenga a la fertilización de un cultivo. Por lo que, cuando el nivel de un nutriente se encuentra por debajo o por encima del nivel crítico, se refleja en el crecimiento y desarrollo de la planta, siendo su impacto positivo o negativo según cada extremo.

Con el análisis de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo. Además, se identifican condiciones que pueden generar problemas de toxicidad a nivel de cultivos y fijación de elementos en el suelo. Estos suelen ser la acidez excesiva, la salinidad, y la toxicidad de algunos elementos como aluminio o hierro, por ejemplo (Instituto de la Potasa y el Fosfato [INPOFOS], 1997).

Conocer el grado de fertilidad de un suelo es un buen punto de partida para el establecimiento de cualquier cultivo, si bien este es un factor determinante, también es importante identificar propiedades físicas del mismo, ya que se podría tener un suelo con alto contenido nutricional, pero con problemas físicos como drenaje pobre, suelos poco profundos

o con lechos rocosos muy cerca de la superficie. Esto podría al final limitar la producción en sus áreas, puesto que el nivel productivo de un suelo está determinado no solo por sus características químicas, sino también por sus características físicas (INPOFOS, 1997).

Entre las funciones primordiales que cumple el análisis de suelos se encuentra la identificación de los niveles nutricionales de cada uno de los elementos en el suelo. Esto es de vital importancia puesto que permite realizar ajustes en los programas nutricionales para mejorar aspectos importantes en cuanto a rendimiento y manejo de suelos. Además, permite un mayor seguimiento en cuanto a los cambios en los niveles de fertilidad de los suelos, que normalmente son usados en explotaciones agrícolas de los cuales los cultivos extraen una buena porción de los nutrientes.

En cuanto a análisis foliares se refiere, estos se realizan de manera más elaborada debido a que existe mucha discusión sobre la preparación y toma de las muestras. En este caso se debe seleccionar bien las hojas a muestrear para no inducir al error al laboratorio. Otro aspecto importante es que se debe realizar una destrucción de la materia orgánica del tejido. A este proceso se le llama también digestión, y se pueden efectuar de 2 formas: combustión a alta temperatura y combustión ácida (Aldana, 2011).

La combustión a alta temperatura, también conocida como digestión seca, se lleva a cabo en una mufla donde se eleva la temperatura lentamente en un lapso no menor a 1 hora hasta alcanzar los 500° C, manteniéndola estable por 4 horas. Se debe reducir la muestra a cenizas que luego serán disueltas con ácido nítrico (HNO_3) al 20 % o ácido clorhídrico concentrado (HCL) que permitirá llevar esas cenizas a solución (Aldana, 2011).

Por su parte, en la combustión ácida o digestión húmeda se utilizan ácidos para digerir la muestra, con mezclas de ácido sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3) y perclórico (HClO_4).

Estas se realizan en tubos de digestión que se introducen en un bloque de digestión con temperatura controlada lo cual hace el proceso más simple. La concentración de N, P, K, Ca, Mg y S en los tejidos se expresa como porcentaje (%) en base a peso seco. En forma similar los micronutrientes B, Cl, Cu, Fe, Mo, Mn y Zn se expresan en partes por millón (ppm) (Aldana, 2011).

2.4. Interpretación de análisis químicos.

La importancia de un análisis químico de laboratorio tiene varios puntos que permiten que este pueda ser de utilidad como lo son el método de muestreo, la manipulación de las muestras y la calidad de los procesos que tenga el laboratorio en donde se lleve a cabo el análisis. Sin embargo, uno de los puntos de mayor importancia es la interpretación de los resultados a través de los análisis. De este análisis dependerá que las correcciones o ajustes que se realicen puedan tener el impacto deseado en el cultivo.

Actualmente en el mercado se cuenta con diversas herramientas como lo son tablas previamente revisadas y calibradas para los cultivos y suelos, esto les permite a los usuarios tener un criterio más apropiado de los problemas que se presentan a nivel de suelo o cultivos. (Molina & Meléndez, 2006). Para los profesionales en ciencias agropecuarias, es de suma importancia contar con herramientas tecnológicas que permitan llevar a cabo una buena interpretación de los análisis, así sacar el máximo potencial de sus suelos y cultivos. (Obando & Jarquín, 2020)

2.4.1. Interpretación de Análisis de Suelo.

Según Molina y Meléndez (2002) citado por Obando y Jarquín (2020), la interpretación de los análisis de suelos se realiza mediante el uso de tablas de fertilidad que presentan los

valores de referencia de los nutrientes, con base en el concepto de nivel crítico. El diseño de estas tablas y su calibración se lleva a cabo mediante información derivada de investigaciones de invernadero y campo, así como en correlación de análisis de suelos, y con la experiencia acumulada por laboratorios y especialistas en el tema, la mayoría vinculados al sector público y universidades.

En Costa Rica se utiliza las guías de interpretación de análisis de suelos desarrolladas por el CATIE (1978) y el Ministerio de Agricultura (Bertsch 1986), con algunas modificaciones realizadas por el CIA-UCR. (p. 14)

Tabla 3. Interpretación de Análisis de Suelo.

		Bajo	Medio	Optimo	Alto
PH		< 5	5 – 6	6-7	> 7
Ca	Cmol/L	< 4	4- 6	6-15	> 15
Mg	Cmol/L	< 1	1- 3	3-6	> 6
K	Cmol/L	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 0.8	> 0.8
Acidez	Cmol/L		0.3 – 1	< 0.3	> 1
S.A	%		10 – 30	< 10	> 30
P	Mg/ L	< 12	12 – 20	20-50	> 50
Fe	Mg/ L	< 5	5 – 10	10-50	> 50
Cu	Mg/ L	< 0.5	0.5 – 1	1-20	> 20
Zn	Mg/ L	< 2	2 – 3	3-10	> 10
Mn	Mg/ L	< 5	5 – 10	10-50	> 50
B	Mg/ L	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 – 1	> 1
S	Mg/ L	< 12	12 – 20	20 – 50	> 50
M.O	%	< 2	2- 5	5- 10	> 10
Relaciones		Ca/ Mg	Ca/K	Mg/ K	(Ca+Mg)/K
Cationicas		2 – 5	5 – 25	2.5 – 15	10 – 40
pH en agua					
Ca, Mg y acidez o Al extraíbles con KCL 1 M					
P,K,Cu,Zn y Mn extraíbles con Olsen modificado					
B y S extraíbles con fosfato de Calcio					
Materia orgánica en digestión húmeda					

Nota: Tomado de: *Análisis de suelos y su interpretación* (p. 5), por Eloy Molina, 2002, INFOAGRO, (<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>)

2.4.2. Interpretación de análisis foliares.

Para hacer más fácil la interpretación de estos análisis se cuenta con algunas tablas estandarizadas (tabla 4), que permiten comparar los resultados contra variables ya establecidas, obteniéndose los respectivos niveles y comparándolos en segmentos (bajo, medio, óptimo y alto). Esto genera un nivel idóneo de conocimiento de suelos y sus principales deficiencias.

Por otra parte, se determinan también las relaciones entre cationes, lo que permite conocer el tipo de balance que se tiene en el suelo con las relaciones entre las bases calcio, magnesio y potasio. Para ellos se cuenta con umbrales divididos igualmente en niveles desde bajo, medio, óptimo y alto. Estas tablas son adaptadas e interpretadas por especialistas en cada país. En el caso de Costa Rica se utiliza la adaptación realizada por Molina (2002).

Tabla 4. Interpretación de Análisis Foliare en gramíneas.

	Crítico	Deseable	Máximo	Tóxico
%				
Nitrógeno	< 1.12	1.34-1.52		
Fósforo	< 0.18	0.19-0.22		
Potasio	< 0.50	0.60-1.00	3.0	> 3.0
Calcio	< 0.18	0.28-0.37	2.0	> 2.0
Magnesio	< 0.05	0.05-0.20	0.4	> 0.4
Azufre	< 0.06	0.08-0.15	0.4	> 0.4
mg.kg-1				
Boro	< 4.00	4.0-8.0	12	> 12
Cobre	< 4.00	4.0-10.0	115	> 115
Hierro	< 20.00	50.0-100.0	1000	> 1000
Manganeso	< 10.00	20.0-50.0	1000	> 1000
Zinc	< 18.00	20.0-40.0	500	> 500

Tomado de: “Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica” por R. Cerdas, 2012, *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 12 (24), pág. 117. (<https://www.redalyc.org/pdf/666/66622581007.pdf>)

Los forrajes adaptados a la zona tropical toleran altos niveles de acidez y condiciones de baja fertilidad como las que se presentan en la zona de Guanacaste. Sin embargo, en casos muy severos donde dichos niveles superan 0.30 cmol (+) L⁻¹ se debe encalar para mejorar las condiciones del suelo, incorporando la cal 60 días antes de la siembra. Esto repercute de forma positiva en la absorción de Fosforo y Calcio que se encuentra fijado a los coloides del

suelo por la acidez. Además, genera una disminución de los niveles de aluminio, lo cual permite un mejor desarrollo radicular de las plantas y mejora la absorción de nutrientes, propiciando una mejor fijación de nitrógeno a nivel biológico. Esto repercute en una mejora en los niveles de materia orgánica y de la estructura del suelo (Molina 2007).

A nivel foliar se pueden determinar deficiencias y toxicidades que generalmente muestran síntomas perceptibles de manera visual. Si bien, su detección permite tener cierto grado de precisión respecto a problemas de índole nutricional, es mediante el análisis de las muestras que se puede determinar con un grado de acierto significativo, cuál elemento o relación entre estos está generando algún desbalance en el cultivo que limite su producción o desarrollo. (Molina, 2007).

Bernal y Espinoza (2003) la demanda nutricional de las diferentes especies forrajeras es muy variable. Tal demanda depende de tres factores; la capacidad de los forrajes para extraer nutrientes del suelo, el requerimiento interno del pasto y el potencial de producción de la especie forrajera. Estas tienen, según su especie, diferentes capacidades de extracción de nutrientes de la solución del suelo, aunque en la actualidad se sabe que las más eficientes en cuanto a extracción son las gramíneas.

Tabla 5. Requerimientos nutricionales de algunas gramíneas tropicales.

Pasto	Producción t MS ha-1 año-1	Extracción de nutrientes Kg ha-1 año-1		
		N	P	K
Brachiaria	5.20	63.00	14.00	69.00
	13.00	157.00	36.00	172.00
	19.00	230.00	53.00	252.00
Transvala	7.50	86.00	31.00	125.00
	18.00	207.00	74.00	299.00
	29.00	334.00	120.00	481.00
Guinea	6.70	79.00	27.00	114.00
	16.50	195.00	67.00	288.00
	28.00	332.00	113.00	488.00
Pará	11.20	133.00	42.00	199.00
	21.40	254.00	80.00	380.00
	29.00	344.00	109.00	515.00
Gigante	8.00	88.00	42.00	175.00
	17.00	186.00	90.00	371.00
	31.00	339.00	164.00	677.00

Tomado de: Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos (p. 66) por, Javier Bernal y José Espinoza, 2012

2.5. Análisis financiero de sistemas de producción.

Los análisis financieros son herramientas fundamentales para conocer la viabilidad de los proyectos. Toman como objeto de análisis los factores económicos, recursos materiales y además el presupuesto con que se debe contar para poder ejecutar la idea gracias a esto se afirma que lo más importante antes de realizar una inversión es contar con un estudio financiero que permita la toma de decisiones desde un punto de vista de total objetividad. Se parte del hecho de que se busca la generación de utilidades que permitan la sostenibilidad del proyecto.

Tal es el caso de la producción de pasto, por ejemplo, en donde deberá existir un adecuado balance entre los costos de producción, el precio de venta y el margen de ganancia que se perciba al final de la cadena de valor. Esto se podrá lograr mediante un estudio de mercado efectivo y con bases sólidas que permita determinar con un nivel de certeza idóneo si el proyecto representa una buena inversión de recursos que, a la postre, resulte como una buena fuente de ingresos.

2.6. Determinación de rendimientos de campo en pasto Transvala

Los rendimientos de pastos de corta como el transvala se determinan mediante la cantidad de pacas producidas por hectárea. Con este dato se puede obtener un resultado contundente de la posible generación de utilidades. El peso de cada paca es de 18 kilogramos y mide 80 cm. Esta estandarización se da gracias a las exigencias del mercado de este producto, en el cual se busca manejar un mismo tipo de calidad que permita determinar de una manera justa el precio. La cantidad de pacas por hectárea depende de diversos factores tales como número de cosechas que se realicen, tiempo de cosecha, disponibilidad de riego y uso adecuado de fertilización (Morales, 2009).

El promedio para la zona de Guanacaste según datos obtenidos en fincas dedicadas a la producción de pacas como Agrícola La Liliana, Guanapacas y Agro Guanacaste es de 350 pacas por hectárea, esto bajo condiciones normales de lluvia y fertilización básica. Por lo tanto, se podría estimar un rendimiento mínimo de 6 toneladas de heno por hectárea, aunque se conoce que actualmente estas cifras han mejorado hasta en un 15 % respecto a los datos mencionados.

2.6.1. Análisis de precios de mercado de pacas de pasto Transvala.

Los precios de las pacas varían de acuerdo con la relación Oferta – Demanda. En meses de escasos los precios son de ¢ 2500.00. Durante los meses de mayor producción el precio es de ¢ 2000.00. Sin embargo, las empresas dedicadas a producción intensiva han realizado alianzas con sus principales clientes para fijar los precios a lo largo de la temporada, oscilando entre ¢ 2.000.00 y ¢ 2300.00.

Con base en esta información se podría realizar una proyección de la utilidad a percibir durante la primera cosecha. Sin embargo, los costos de producción bajan considerablemente a partir de la segunda corta ya que hay diferentes labores que se dejan de realizar (Preparación, agotamiento de malezas, semilla, fertilizante de siembra). Por esto, es necesario actualizar los costos financieros del proyecto a lo largo de sus diversas etapas.

Tabla 6. Análisis económico de Producción de Pacas años 1 y 2.

Rendimiento Pacas / Ha	Precio Paca	Ingresos / Ha	Costos producción / Ha	Recolección y Transporte	Utilidad
350	¢ 2,500.00	¢ 875,000.00	¢ 616,775.00	¢ 35,000.00	¢ 223,225.00
Rendimiento Pacas / Ha	Precio Paca	Ingresos / Ha	Costos producción / Ha	Recolección y Transporte	Utilidad
350	¢ 2,500.00	¢ 875,000.00	¢ 306,375.00	¢ 35,000.00	¢ 533,625.00

2.6.2. Análisis de costos de producción de pasto transvala para corta.

Como ya se mencionó, los costos de producción son un poco más elevados al momento del establecimiento del pasto, ya que en esa etapa se debe recurrir a gastos de preparación y agotamiento de malezas. A partir de la segunda corta los costos se reducen significativamente

ya que solamente se realizan aplicaciones de fertilizante nitrogenado y algunos refuerzos con fórmulas completas y control de malezas.

Tabla 7. Detalle de Actividades y Costos de producción de pacas Año 1.

Actividad	Descripción	Unidades	Costo Unidad	Costo Total
Rastreo	Pase	3.00	₡ 20,000.00	₡ 60,000.00
Semilla	Tonelada	6.00	₡ 25,000.00	₡ 150,000.00
Mano de Obra siembra	Hectárea	3.00	₡ 20,000.00	₡ 60,000.00
Mano de Obra Aplicaciones	Hectárea	2.00	₡ 20,000.00	₡ 40,000.00
Fertilizante de siembra	Sacos	3.00	₡ 15,000.00	₡ 45,000.00
Fertilizante Nitrogenado	Sacos	4.00	₡ 13,000.00	₡ 52,000.00
Herbicidas	Glifosato	3	₡ 1,800.00	₡ 5,400.00
	2,4 -D	2	₡ 2,500.00	₡ 5,000.00
	Bispiribac	0.2	₡ 105,000.00	₡ 21,000.00
	Aminopiralyd + 2,4 -D	1.5	₡ 6,000.00	₡ 9,000.00
Insecticidas	Cipermetrina	0.25	₡ 5,500.00	₡ 1,375.00
Servicio de riego	Canon	1	₡ 3,000.00	₡ 3,000.00
Cosecha y acordonado	Hectárea	1	₡ 25,000.00	₡ 25,000.00
Embalaje de pasto	Paca	350	₡ 600.00	₡ 210,000.00
Total				₡ 686,775.00

En el cuadro anterior se detallan las principales labores que se realizan al momento de establecer un proyecto de producción de heno. Para esto se realizó un sondeo de estimación de precios de cada una de las actividades, insumos y diferentes servicios que se deben tener en cuenta al momento de dar inicio a un proyecto de esta índole. Los costos de las labores están estimados de acuerdo a información recavada con diferentes empresas dedicadas a la producción de pacas y los costos de los insumos se determinaron de acuerdo a información suministrada por Colono Agropecuario S.A.

Tabla 8. Detalle de Actividades y Costos de producción de pacas Año 2.

Actividad	Descripción	Unidades	Costo Unidad	Costo Total
Mano de Obra Aplicaciones	Hectárea	2.00	₡ 20,000.00	₡ 40,000.00
Fertilizante de siembra	Sacos	1.00	₡ 15,000.00	₡ 15,000.00
Fertilizante Nitrogenado	Sacos	4.00	₡ 13,000.00	₡ 52,000.00
Herbicidas	Bispiribac	0.2	₡ 105,000.00	₡ 21,000.00
	Aminopiralyd + 2,4 -D	1.5	₡ 6,000.00	₡ 9,000.00
Insecticidas	Cipermetrina	0.25	₡ 5,500.00	₡ 1,375.00
Servicio de riego	Canon	1	₡ 3,000.00	₡ 3,000.00
Cosecha y acordonado	Hectarea	1	₡ 25,000.00	₡ 25,000.00
Embalaje de pasto	Paca	350	₡ 600.00	₡ 210,000.00
Total				₡ 376,375.00

Capitulo III. Marco Metodológico

1.1 Paradigma de la investigación

Esta investigación tiene como base epistemológica el positivismo y el método científico como una guía para su elaboración. La decisión de usar este paradigma se da ya que es el que mejor se adapta a las características y necesidades del presente trabajo.

Según Ricoy (2006) el “paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico”. Es por ello que este tipo de paradigma irá enfocado a comprobar una hipótesis mediante métodos estadísticos o de una variable previamente determinada. (p. 14).

Este paradigma permitirá determinar la capacidad de fijación de nitrógeno por parte de la bacteria *Azospirillum brasilense* en pasto transvala (*Digitaria decumbens stent*) y su impacto en la disminución de las aplicaciones de fertilizante nitrogenado.

3.2 Enfoque y tipo de investigación.

El enfoque para la evaluación de la influencia de *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 en pasto Transvala es de carácter cuantitativo ya que se midieron variables biométricas de la planta y resultados de laboratorio. En estas se analizaron variables independientes sobre las variables dependientes, evaluando específicamente las consecuencias de tal manipulación.

El diseño experimental “es el procedimiento de planeación y conducción de experimentos, así como la definición del análisis estadístico para evaluar los resultados, con el objetivo de tener conclusiones válidas y objetivas. El procedimiento incluye la definición de factores a modificar, la manera de su aplicación y el número de pruebas a realizar” (Mellado, 2008, p.1).

El tipo de investigación es experimental y exploratorio ya que en el presente trabajo se tuvo control de las variables durante el ensayo.

3.3 Delimitación del proyecto.

Con la investigación se logró determinar el efecto que tuvo *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 en la absorción del nitrógeno en pasto *Digitaria decumbens* mediante el aprovechamiento del elemento aplicado como fertilizante Ureico, de acuerdo con los resultados se podría generar un impacto positivo en el ámbito ecológico ya que una de las desventajas de los modelos actuales es la liberación de gases de efecto invernadero, así como la contaminación de las fuentes de agua subterráneas y superficiales.

Por otra parte, también podría generar un impacto positivo desde el punto de vista económico ya que si se logra determinar la posibilidad de reducir la cantidad de fertilizante disminuirán los costos de los programas de fertilización en los proyectos que ya en la zona han incrementado con el paso de los últimos años.

3.4 Hipótesis.

1. H_0 : El uso de *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 como bacteria fijadora de nitrógeno no promueve la absorción del nitrógeno en Pasto Transvala (*Digitaria decumbens stent*)

2. H_i : El uso de *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 como bacteria fijadora de nitrógeno es una alternativa viable para mejorar la absorción del nitrógeno en Pasto Transvala (*Digitaria decumbens stent*).

3.5 Localidad.

Este estudio se desarrolló en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste. Propiamente, en la finca La Gaviota que cuenta con áreas comercial de producción de pasto transvala, este ensayo se realizó en un área ya establecida de pasto transvala.

Esta sección de la finca tiene suelos franco-arcillosas con una topografía plana que se encuentra a no más de 12 msnm, tiene influencia climática de bosque tropical seco, la cual cuenta con acceso a riego por gravedad. El manejo del cultivo será realizado de acuerdo con el programa comercial de la finca. El manejo de la fertilidad del ensayo será diferenciado según los diferentes niveles y tratamientos que se evaluarán.

3.6 Tratamientos.

3.6.1 Cultivo.

Se seleccionó una parcela de pasto Transvala *Digitaria decumbens stent*, puesto que es la variedad comercial más usada en la provincia de Guanacaste. Además, debido a su alto grado de adaptabilidad a las condiciones climáticas y alta resistencia a los ataques de plagas y enfermedades. El ensayo fue establecido en un área comercial que se encuentra en producción la cual fue tratada con la bacteria y además se realizó un manejo de la fertilización según los niveles definidos dentro de los tratamientos planteados.

3.6.2 Producto por evaluar.

Se evaluó la bacteria *Azospirillum brasiliense* cepa hb 001 en concentración de $3,1 \times 10^{11}$, esta concentración se utilizó para todos los tratamientos. Esta es una bacteria de vida libre que sintetiza fitohormonas que promueven el crecimiento, cambios morfológicos y

fisiológicos de la raíz para un mejor aprovechamiento del agua, mayor tolerancia a periodos secos y mayor eficiencia en el consumo de nutrimentos.

3.7 Descripción de Tratamientos.

Tabla 9. Descripción de Tratamientos.

Tratamiento.	Descripción	Dosis <i>A. brasiliense</i>	Dosis Urea (46% N)	Momento de aplicación
1	<i>A. brasiliense</i> + 100% N	2 L/ha	100 kg/ha	8 días después de corta
2	<i>A. brasiliense</i> + 75% N	2 L/ha	75 kg/ha	8 días después de corta
3	<i>A. brasiliense</i> + 50% N	2 L/ha	50 kg/ha	8 días después de corta
4	<i>A. brasiliense</i> + 25% N	2 L/ha	25 kg/ha	8 días después de corta
5	<i>A. brasiliense</i> + 0% N	2 L/ha	--	8 días después de corta
6	100% N	--	100 kg/ha	8 días después de corta
7	0 % N	--	--	8 días después de corta

3.8 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones, las unidades experimentales se establecieron de forma aleatorizada sobre el mismo bloque de producción.

La evaluación de la bacteria se realizó en 2 ciclos consecutivos de corta del pasto (90 días) con el objetivo de brindar mayor nivel de confiabilidad a la investigación.

Se trabajó con parcelas de 10 metros de largo por 6 metros de ancho, para un total de 60 m² de área efectiva, en el ensayo se marcaron 21 parcelas, sobre las que se aplicaron los tratamientos de acuerdo con el diseño experimental seleccionado, entre cada parcela se dejó un metro de separación en toda la circunferencia.

El área evaluada donde se realizó la investigación es un lote de pasto transvala ya establecido, una vez cosechado se inició con el ensayo y se tomó como día cero para efectos del ensayo.

La inoculación de la bacteria se realizó 10 días después de haber sido segado el lote y la fertilización nitrogenada se llevó a cabo 15 días después de la cosecha del lote.

3.9 Evaluación de variables.

Considerando el propósito del estudio y cumpliendo con los objetivos establecidos se evaluaron las siguientes variables:

- **Contenido de nitrógeno**

Esta variable se determinó por dos valores, el contenido de nitrógeno foliar y contenido de nitrógeno edáfico, esto se realizó en Agroanálisis de Costa Rica. En el contenido de nitrógeno foliar se tomaron 25 hojas al azar por tratamiento (muestra requerida por laboratorios), y según Howeler 1983 para análisis de elementos basta con una muestra compuesta y representativa de 3 – 5 gramos de materia seca, en este caso 25 hojas representaban aproximadamente 50 gramos de materia fresca con lo cual se garantiza obtener un buen tamaño de muestra. Se tomaron hojas enteras de la parte media de la planta que no

estén dañadas ni atacadas por plagas ni enfermedades, se realizó un muestreo por tratamiento, 8 días antes de la cosecha. Deberá transcurrir el menor tiempo posible entre la toma de muestra y su análisis. Si esto no es viable se deberá almacenar la muestra en refrigeración a 5 grados hasta su entrega en laboratorio. Con respecto al contenido de nitrógeno edáfico se realizarán dos análisis, se tomó una muestra representativa de 500 gramos de toda el área de ensayo previo a la aplicación de fertilizante, realizando 15 submuestras al azar y unificándola mediante la técnica del cuarteo, esta represento la muestra inicial. Posteriormente se realizó un muestreo de suelos por cada tratamiento 8 días antes de cosecha, utilizando el mismo método mencionado en la muestra inicial. Los muestreos se tomarán a una profundidad de 10 a 15 cm (profundidad de las raíces del cultivo). Cada muestra para ambas variables será identificada con el código de tratamiento, fecha de muestreo y ubicación. (Schweizer, S 2011)

- **Altura de plantas**

Se midieron con cinta métrica 15 plantas por tratamiento de manera aleatoria desde la base del tallo hasta la parte superior de la planta. El muestreo se realizó 8 días antes de cosecha, sin remover la planta del suelo.

- **Biomasa**

Se determinó un solo muestreo total por cada parcela, de tipo destructivo al momento de la cosecha basado en el corte y la muestra del pesado de follaje, cuantificando rendimientos por tratamiento en su totalidad en kilogramos. (Bruno et al, 1995)

- **Contenido de clorofila**

Se hicieron 10 muestras al azar por tratamiento 8 días antes de cosecha en el área foliar cuando el cultivo estaba en etapa fenológica de máximo macollo previo a cosecha, con el

instrumento FieldScout CM1000, medidor portátil de clorofila presente en las hojas de la planta. Este dato está relacionado con la condición de la planta y por lo tanto se puede utilizar para determinar si la planta está debidamente fertilizada. El FieldScout CM1000 detecta el estrés antes que el control visual, calcula el índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI), calcula y muestra un promedio móvil para múltiples lecturas. Utiliza tecnología de "apunte y dispare" que mide instantáneamente la luz reflejada en el rojo (660nm) y en el cercano infrarrojo (840nm). A 30cm integra una medición en un área de 4cm de diámetro y a 1.2m un área de 11cm. Un rayo láser lo guía mostrando la frontera del área de medición. Un sensor de luz ambiental corrige de manera automática las mediciones por aquellas variaciones de luz que se den durante la toma de datos. El medidor de mano calcula y muestra en valor promedio para lecturas múltiples.

Contenido nutricional de las plantas

Se tomaron una muestra de 500 gramos de follaje por tratamiento al momento de la cosecha según disposiciones del laboratorio donde se analizó la muestra, basándose además en lo indicado por Mora (2012), posteriormente se sometió a análisis de laboratorio para evaluar proteína y fibra.

Todas las muestras fueron debidamente identificadas para su trazabilidad.

- Relación tallo hoja

Para determinar esta relación se realizó un muestreo por tratamiento 8 días antes de cosecha, se tomaron 5 plantas al azar por tratamiento según lo planteado y se pesaron por separado tanto hojas como tallos en una balanza analítica. La idea es determinar la proporción de hojas

respecto de la proporción de tallos de cada una de las parcelas evaluadas, y determinar la calidad del heno cosechado.

- **Análisis económico**

Cada tratamiento se evaluó por separado, tomaron como base los costos de producción, producción de heno y se proyectó la rentabilidad de estos, para establecer la relación costo beneficio.

3.10 Metodología de toma de datos.

A continuación, se presenta la matriz operacional donde se muestra la metodología utilizada en la toma de datos.

Tabla 10. Matriz Operacional.

Matriz operacional				
Objetivo Especifico	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Evaluar el contenido de nitrógeno en pasto Transvala (<i>Digitaria decumbens Stent</i>) mediante análisis foliares de laboratorio para la determinación de la eficiencia de <i>Azospirillum brasiliense</i> cepa hb 001.	contenido de nitrógeno edáfico.	Cantidad de nitrógeno presente en el suelo	tomando una muestra representativa de suelo por tratamiento, identificada debidamente y enviada a laboratorio para su análisis	Barreno Holandés, bolsas para almacenaje, boleta de identificación
	contenido de nitrógeno foliar.	Cantidad de nitrógeno presente en las hojas	Se obtendrá mediante análisis químico de las muestras foliares enviadas al laboratorio y debidamente etiquetadas	Cuchillo, bolsas de plástico, hielera, etiquetas, bolígrafo
Determinar el comportamiento agronómico de pasto transvala (<i>Digitaria decumbens Stent</i>)	Altura de planta.	Distancia de la parte de la base del tallo a la parte	Se lleva a cabo una medición con cinta métrica de la base de la planta hasta la parte superior de la hoja más alta	cinta métrica

mediante mediciones biométricas para la evaluación del efecto de la bacteria.		superior de la planta.		
	Biomasa	Kilogramos de pasto cosechado en el tratamiento.	Se obtiene la cosecha total del tratamiento y se pesa para determinar el rendimiento en kilogramos de pasto por hectárea	Cuchillo, Balanza Electrónica, bolsas para almacenar la cosecha, libreta, bolígrafo.
	Contenido de clorofila	Es la relación entre el contenido de nitrógeno y la absorción de la luz solar que la planta convierte en energía.	Se determina mediante un el Spad - 502 que en base a la absorción de las hojas de las ondas roja y azul calcula un valor numérico proporcional al contenido de clorofila de la hoja.	Medidor FieldScout CM1000, Libreta, Bolígrafo.
	Contenido nutricional de las plantas.	Contenido nutricional de los macro y micro elementos en las plantas.	Se realizarán análisis químicos de tipo bromatológico de las muestras foliares tomadas en cada tratamiento.	Cuchillo, bolsas de plástico, hielera, etiquetas, bolígrafo
	Relación tallo hoja.	Es el peso individual en gramos de tallos y hojas.	Se tomarán 5 plantas al azar de cada tratamiento y se procederá a pesar con balanza analítica los tallo y hojas por separado.	Cuchillo, Libreta, Bolígrafo, Balanza analítica.
Analizar económicamente los rendimientos de cada uno de los tratamientos,	Costos de producción	El valor en colones del manejo de una hectárea de	Se obtendrá gracias a la estimación de costo de los insumos, mano de obra y transporte de los insumos.	Computadora portátil.

tomando como base la relación costo – beneficio, para valoración de la rentabilidad productiva en cada tratamiento evaluado.		pasto Transvala.		
	Rentabilidad.	Utilidad generada por el proyecto de producción de pacas de Transvala.	Mediante el análisis de los costos de producción versus la ganancia por la comercialización del producto.	Computadora portátil.
	Costo beneficio.	La ganancia por cada colón invertido	La relación se obtiene gracias al estudio de la inversión inicial y las ganancias finales del proyecto, generando una relación de ganancia por cada colón invertido.	Computadora portátil.

3.11 Análisis de resultados.

Para la realización del análisis estadístico se utilizará el programa Infostat versión estudiantil. Para las variables cuantitativas se realizará un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando un nivel de significancia de mediante la prueba DCD, con un nivel de significación de 0.05.

3.12 Modelo estadístico

Reporte el modelo lineal del experimento, especificando todos los elementos del modelo. Para realizar esta investigación cada observación del experimento será expresada mediante una ecuación lineal en los parámetros, el conjunto conforma el modelo para el diseño de bloques completos al azar: (Mendiburu, s/f).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array}$$

μ = Parámetro, efecto medio

τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento I

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ε_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental

Capítulo IV. Presentación y Análisis de Resultados

4.1 Análisis de varianza

Tabla 11. Análisis de Varianza de altura de plantas (cm) de *Digitaria decumbens stent* primer ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	53,78 C	54,42 C
2	49,42 B	54,76 C
3	48,09 B	48,29 B
4	46,4 B	50,44 B
5	49,76 B	50,42 B
6	49,92 B	54,56 C
7	40,2 A	45,67 A

Gráfico 1 Comparativo de tratamientos variable Altura de plantas (cm) de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

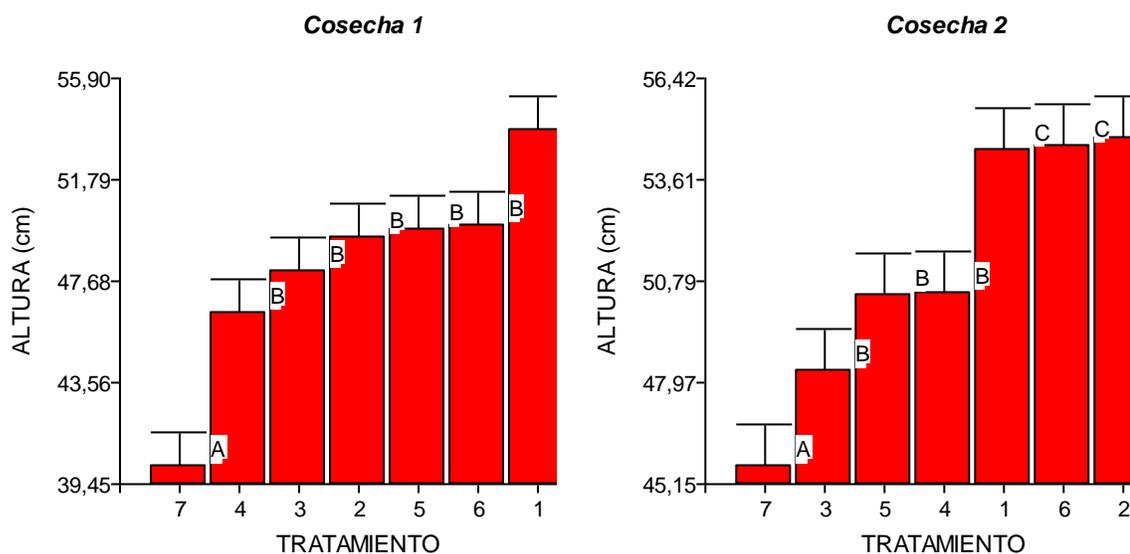
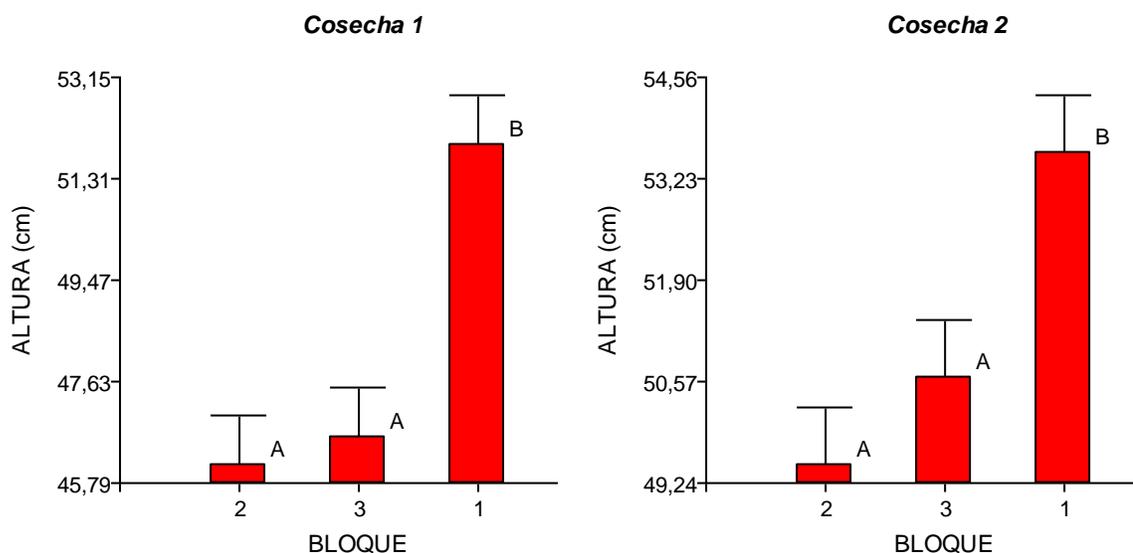


Gráfico 2 Comparativo de Bloques variable Altura de plantas (cm) de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



Según lo observado la tabla 11 y el gráfico 1 para la variable de altura de plantas se determina que el tratamiento 7 presenta diferencias significativas tanto en la primera como la segunda cosecha, siendo este el de menores alturas, esto tiene sentido ya que este es el testigo absoluto (0 % Nitrógeno).

Sin embargo; en la primera cosecha en tratamiento 1 logro marcar positivamente diferencias significativas respecto al resto de tratamientos, obteniendo el dato más alto y dejando como resultado a una fertilización de 100 Kg de Nitrógeno + *Azospirillum brasilense* un mayor tamaño de tallos.

En el segundo ciclo es interesante notar como la previa inoculación con *Azospirillum brasilense* permitió que los tratamientos 1, 6 y 2 no presentaran diferencias significativas entre sí, pero si las obtuvo respecto al resto de tratamientos, con esto se puede concluir que

aun usando un 25 % menos de fertilización se podrían obtener similares resultados a una fertilización de 100 Kg de nitrógeno por hectárea.

Ese beneficio se puede observar según lo menciona Nguyen et al (2019) en su investigación en el cultivo del maíz, donde lograron determinar aumentos significativos en la altura de las plantas que fueron inoculadas con *Azospirillum brasilense*.

El crecimiento vegetativo según Limbou (2005) se produce gracias a la capacidad del *Azospirillum* de promover la producción de ácido indolacético en las plantas, y de auxinas responsable del desarrollo y crecimiento vegetativo en las plantas.

Tabla 12. Análisis de Varianza NDVI (Spad) de *Digitaria decumbens stent* primer ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	0,82 A	0,85 C
2	0,84 B	0,85 C
3	0,81 A	0,82 B
4	0,81 A	0,84 C
5	0,79 A	0,83 C
6	0,85 B	0,87 D
7	0,79 A	0,79 A

Gráfico 3 Comparativo de tratamientos de variable NDVI de plantas de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

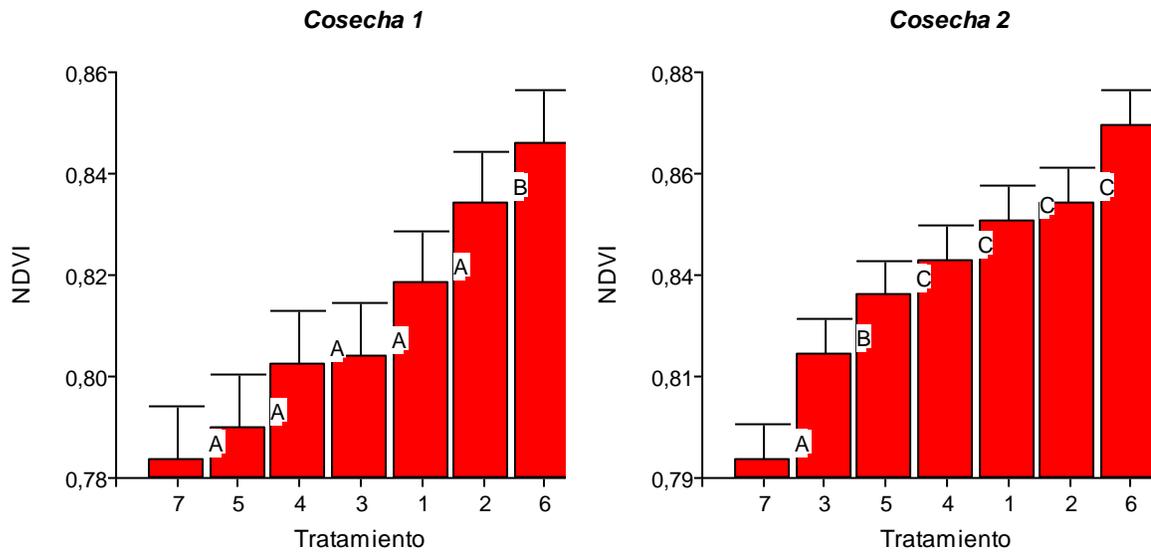
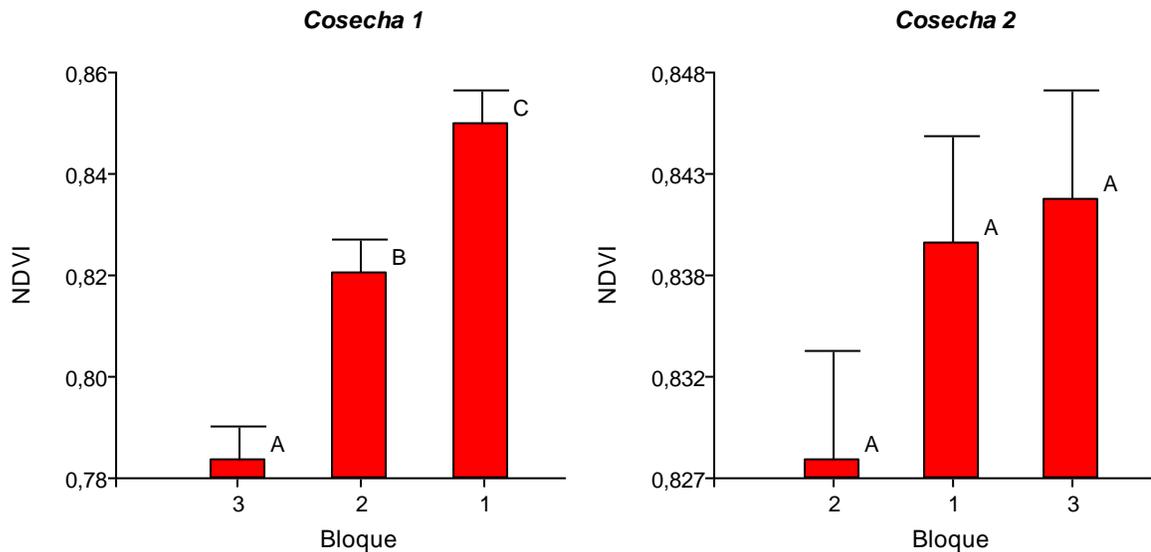


Gráfico 4 Comparativo de Bloques variable NDVI de plantas de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



Según los datos consignados en la tabla 12 y grafico 3 para la variable de NDVI se logra observar que los tratamientos 2 y 6 son los que se diferencian significativamente.

En la cosecha 1 y 2 el tratamiento 7 es el de menor rango de NDVI, esto podría ser resultado de una deficiente fertilización nitrogenada (0 kilogramos) lo cual causa plantas de menor densidad.

Sin embargo, resulta interesante notar en la primera cosecha que los tratamientos 2 y 6 (75 kilogramos de nitrógeno por hectárea + *Azospirillum brasilense*, 100 kg de nitrógeno por hectárea) son los que mejor dato presentan diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos.

En la segunda cosecha se observa que los tratamientos se comportan de manera similar, siendo el 7 estadísticamente significativo negativamente respecto a los demás y el 6 siendo superior al resto con diferencias estadísticas a su favor.

Cabe recalcar que en la segunda cosecha los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas entre si a pesar de reducir un 25 % la cantidad de nitrógeno aplicado, lo cual demuestra la capacidad de *Azospirillum brasilense* para fijar el nitrógeno como se demuestra en la tabla 12 y grafico 2.

Esto demuestra que el Nitrógeno influye directamente en los contenidos de clorofila de las plantas y por ende sus deficiencias podrían afectar el desarrollo de los cultivos tal y como lo cita Nguyen et al (2019) en su estudio realizado en Maíz, donde lograron determinar la relación entre el aumento de Clorofila en tratamientos inoculados con *Azospirillum braselense*.

Las ventajas del uso de la bacteria se ratifican si se comparan absolutamente todos los tratamientos con el testigo absoluto, se nota que inclusive donde se disminuye la dosis de nitrógeno a 0%, y solo se inoculo la bacteria, se logra estimular la recuperación de color característico de una planta bien nutrida, variable que se logra visualizar claramente con el medidor FieldScout CM1000.

Tabla 13. Análisis de Varianza Biomasa (Kg) de *Digitaria decumbens stent*, primer ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	29,33 A	27,33 A
2	31,17 A	30,67 A
3	27 A	22,67 A
4	25 A	20,67 A
5	24,33 A	15,67 A
6	33,5 A	33 A
7	22,5 A	15,33 A

Gráfico 5 Comparativo de tratamientos variable Biomasa (Kg) de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

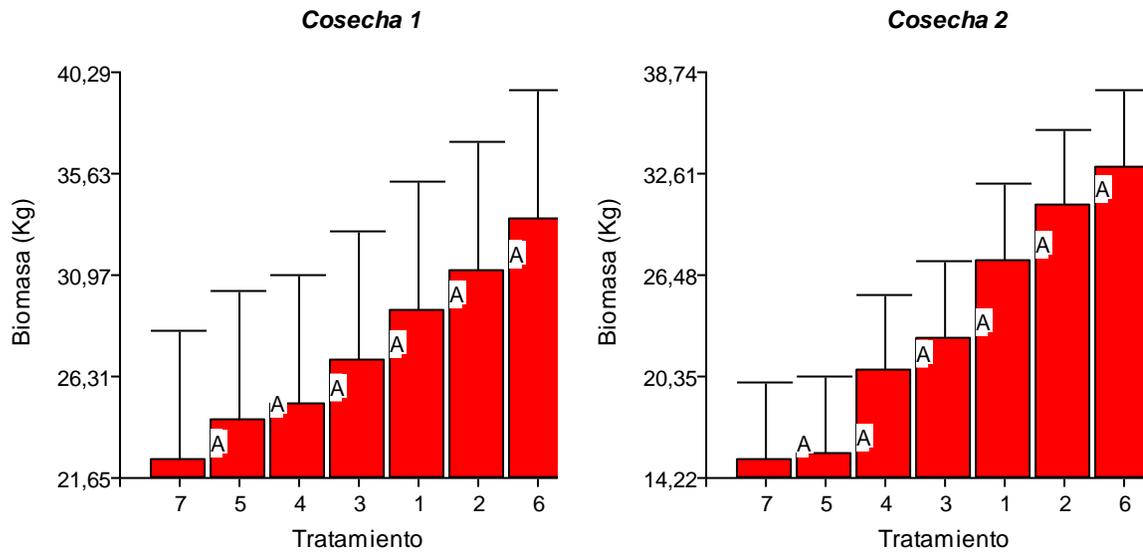
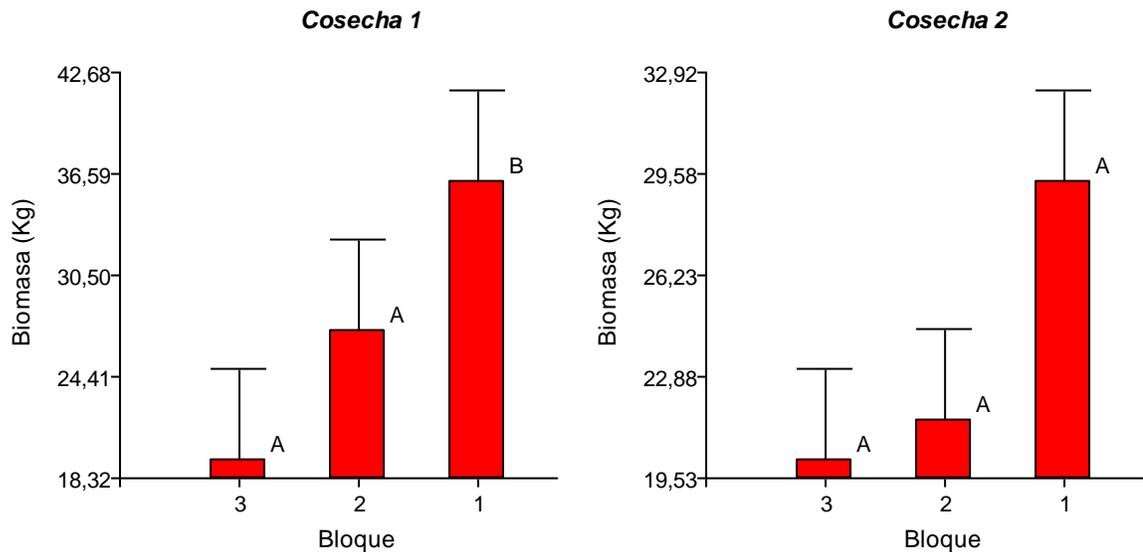


Gráfico 6 Comparativo de Bloques variable Biomasa (Kg) de *Digitaria decumbens stent*, primer y según do ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



En la tabla 13 y el grafico 5 se logró determinar que *Azospirillum brasilense* tiene un efecto positivo en la absorción del nitrógeno y en el rendimiento de kilogramos de biomasa por hectárea.

Los tratamientos siguen la misma tendencia, siendo el 7 el de menor rendimiento debido a la ausencia de fertilización, mientras que el tratamiento 6 es el de mejor rendimiento, destacándose que ese no presenta diferencias significativas respecto al tratamiento 2 a pesar de la reducción de 25 kilogramos de nitrógeno.

Como se logra observar no existen diferencias significativas a nivel de rendimiento, este dato es realmente relevante ya que se podría concluir que con el uso de *Azospirillum brasilense* resulta factible una reducción de la fertilización nitrogenada de hasta un 50 % sin afectar la cantidad de biomasa por hectárea.

También Ohara et al (1981), Fallik & Okon, (1996). han reportado incrementos en biomasa gracias al uso de *Azospirillum brasilense* en diferentes cultivos como maíz y en pastos.

Tabla 14. Análisis de Varianza contenido de nitrógeno en suelo de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	0,23 A	0,25 A
2	0,18 A	0,2 A
3	0,25 A	0,28 A
4	0,22 A	0,24 A
5	0,24 A	0,25 A
6	0,23 A	0,26 A
7	0,23 A	0,21 A

Gráfico 7 Comparativo de tratamientos variable Nitrógeno en suelo de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

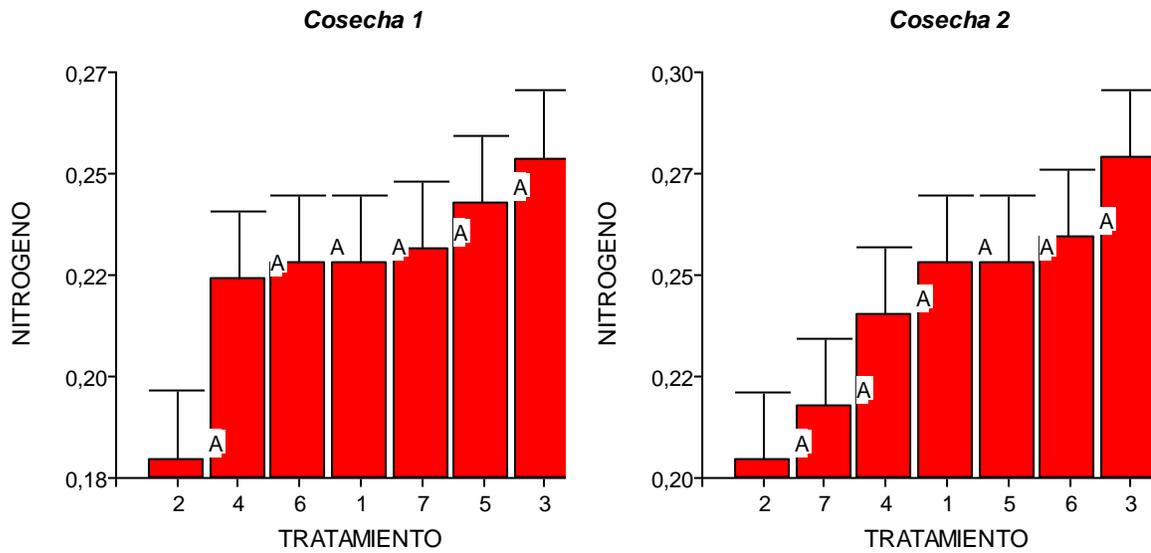
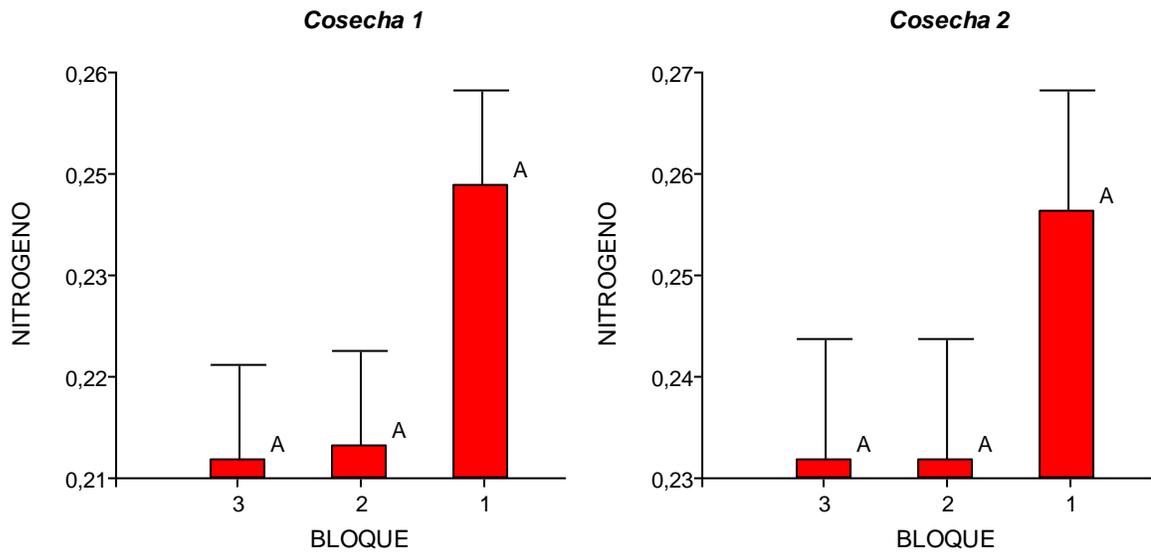


Gráfico 8 Comparativo de Bloques variable Nitrógeno en suelo de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



Como se puede observar claramente en la tabla 14 y el grafico 7 no existen diferencias significativas en los contenidos de nitrógeno a nivel edáfico.

El nitrógeno aplicado al suelo, es un elemento que se hace disponible en la solución del mismo gracias a la acción de las bacterias nitrificadoras existentes, estos procesos inician poco tiempo después de la fertilización, pasando por varias etapas donde finalmente este se absorbe como nitrato o como amonio, según Orchardson 2020 las plantas pueden absorber el nitrato del suelo y descomponerlo en el nitrógeno que necesitan, mientras que las bacterias desnitrificantes convierten el exceso de nitrato nuevamente en nitrógeno inorgánico que se libera a la atmósfera.

Por otra parte, según lo mencionado por vital y Mendoza (2014) el *Azospirillum brasilense* al ser una bacteria de vida libre no fija el nitrógeno al suelo, si no que sus beneficios se dan haciendo a la planta más eficiente en el aprovechamiento del mismo gracias a su capacidad de producir fitohormonas y captar nitrógeno atmosférico.

Tabla 15. Análisis de Varianza contenido de porcentaje de nitrógeno Foliar de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	1,38 A	1,43 A
2	1,52 A	1,52 A
3	1,18 A	1,20 A
4	1,33 A	1,37 A
5	1,43 A	1,46 A
6	1,52 A	1,44 A
7	1,11 A	1,14 A

Gráfico 9 Comparativo de tratamientos variable Nitrógeno foliar de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

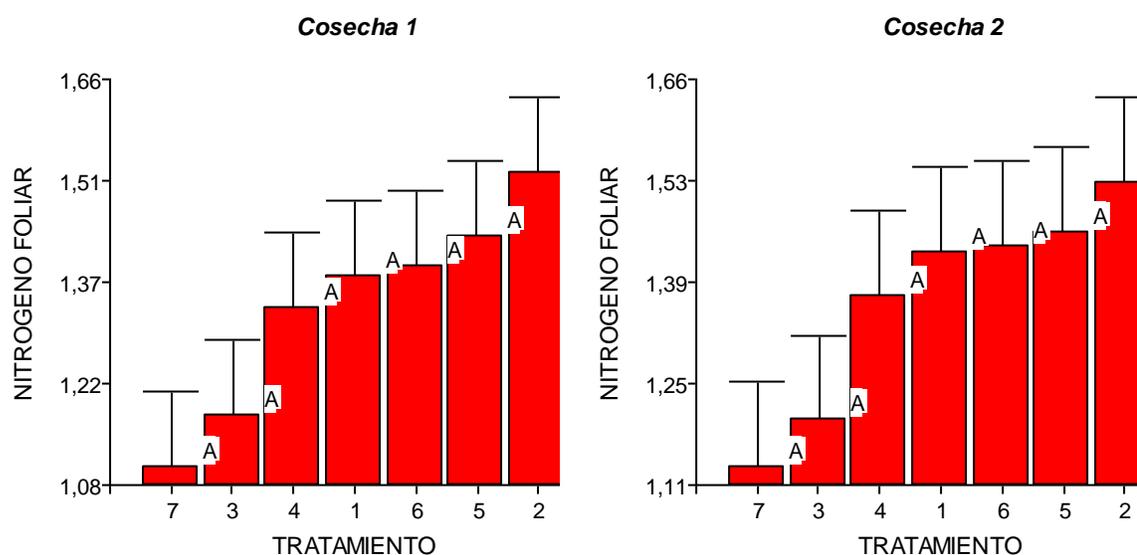
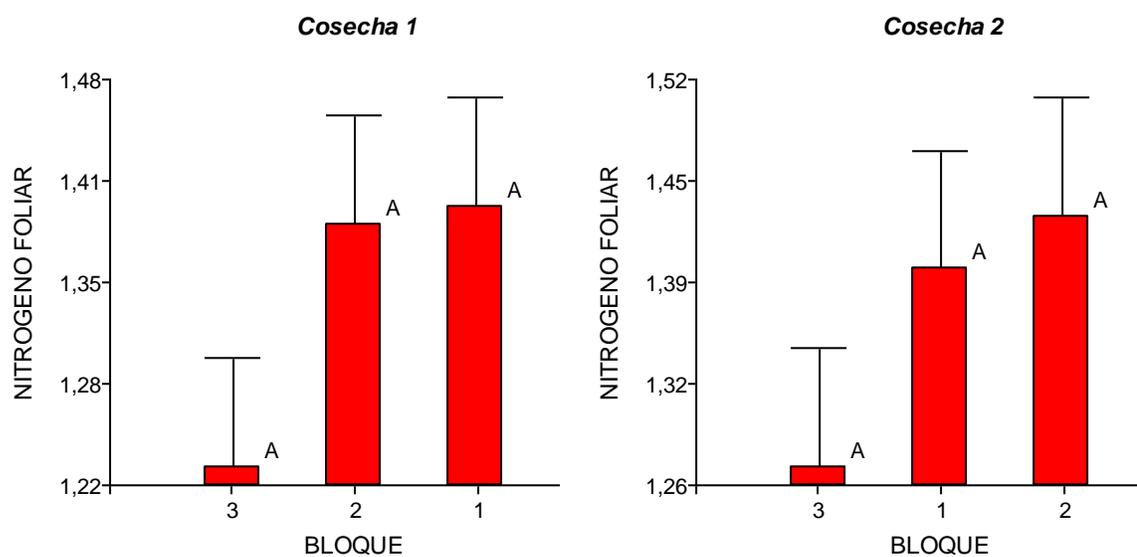


Gráfico 10 Comparativo de Bloques variable Nitrógeno foliar de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



Los datos de la tabla 15 y el gráfico 9 muestran los contenidos de nitrógeno para cada tratamiento, siendo el tratamiento 7 el que menor contenido del elemento muestra, esto debido a la ausencia de fertilizante nitrogenado y bacteria.

Sin embargo, el dato que podría resultar más interesante es el del tratamiento 2, que a pesar de tener 25 kilogramos de nitrógeno menos por hectárea es el de mayor contenido del elemento.

Esto permite concluir que mediante el uso de *Azospirillum brasilense* se puede reducir la fertilización sin perder concentraciones de nitrógeno a nivel foliar.

Según Steenhoudt y Vander Leyden (2000) se cree que el mecanismo principal por el cual *Azospirillum brasilense* mejora el crecimiento de las plantas es mediante la producción de hormonas vegetales o fitohormonas, además Nguyen 2019 determinó que cuando se inoculan plantas de maíz con *Azospirillum brasilense* estas mostraron mayor biomasa y rendimiento de grano. Cabe destacar además que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 16. Análisis de Varianza contenido de porcentaje de proteína seca de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	7,99 B	8,02 B
2	9,14 B	9,19 B
3	8,98 B	8,98 B
4	8,28 B	8,28 B
5	6,96 A	6,99 A
6	8,69 B	8,72 B
7	6,77 A	6,80 A

Gráfico 11 Comparativo de tratamientos variable Proteína de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

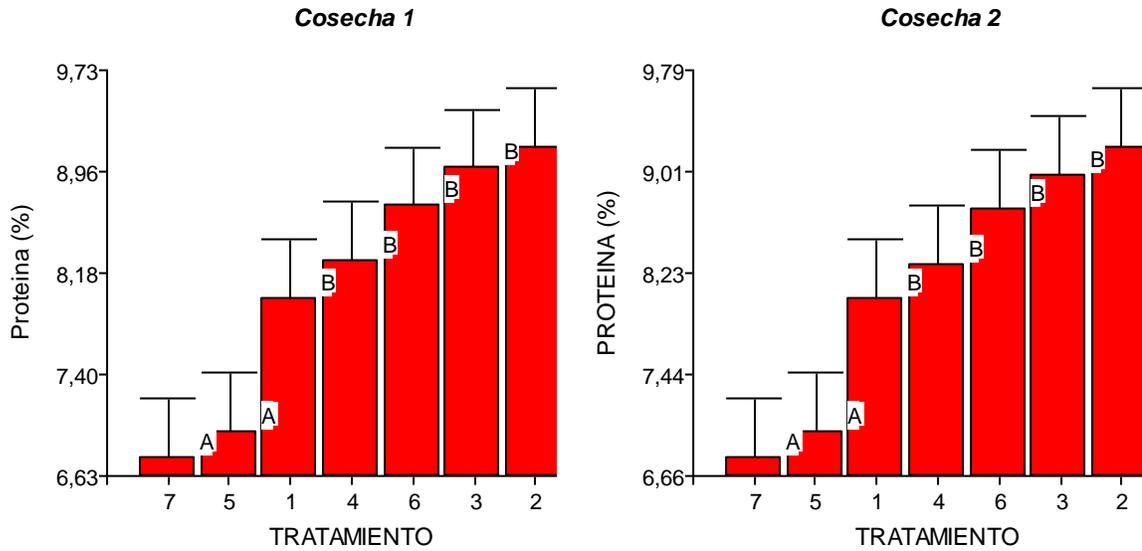
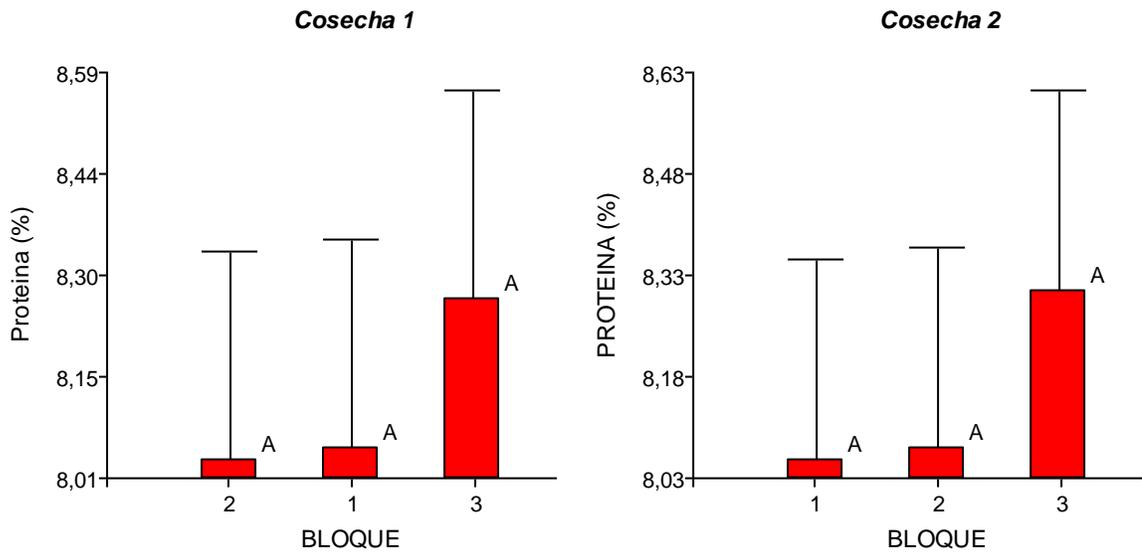


Gráfico 12 Comparativo de Bloques variable Proteína de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



Según los resultados mostrados en la tabla 16 y el gráfico 12 tanto para primera como segunda cosecha los contenidos más bajos de proteína se obtuvieron en los tratamientos 5 y 7 siendo estos los que no tenían aplicación de fertilizante, con la diferencia que uno tenía *Azospirillum brasilense* y el otro no, mientras el resto de los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí.

A pesar de no existir diferencias significativas los tratamientos con mayor contenido de proteína son los tratamientos 2 y 3, esto da pie para justificar el efecto del *Azospirillum brasilense* en la reducción del uso de fertilización nitrogenada sin perder la calidad de la pastura. Según Cabalceta (1999) el nitrógeno tiene relación directa con la producción de materia seca lo cual influye directamente en la calidad de los pastos al intervenir en los contenidos de proteína cruda y digestibilidad, además de su estrecha relación el desarrollo de nuevos brotes lo que se traduce en rendimientos.

Cabe recalcar que lo más importante es poder sostener los valores de proteína aun en cosechas futuras, para obtener mejor calidad de heno cosechado, lo que permite ratificar la capacidad de *Azospirillum brasilense* para fijar nitrógeno al cultivo y por ende poder cosechar un producto de alto valor nutricional.

Tabla 17. Análisis de Varianza relación hoja – tallo de *Digitaria decumbens* stent, primer y segundo ciclo. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

Tratamiento	Cosecha	
	1	2
1	0,56 A	0,59 A
2	0,55 A	0,52 A
3	0,92 A	0,58 A
4	0,72 A	0,65 A
5	0,42 A	0,44 A
6	0,59 A	0,60 A
7	0,51 A	0,52 A

Gráfico 13 Comparativo de tratamientos variable Tallo y Hoja de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

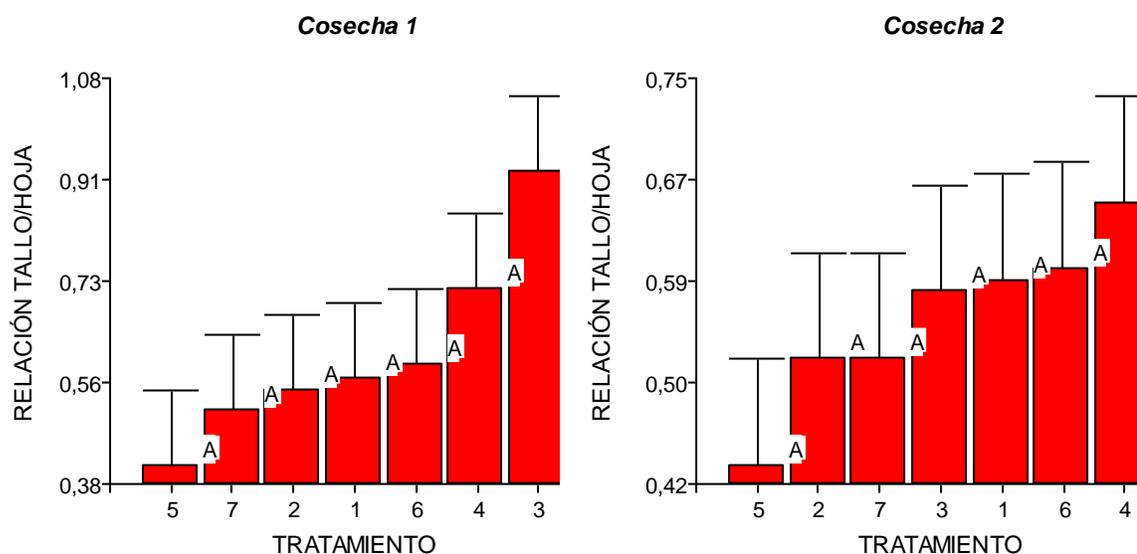
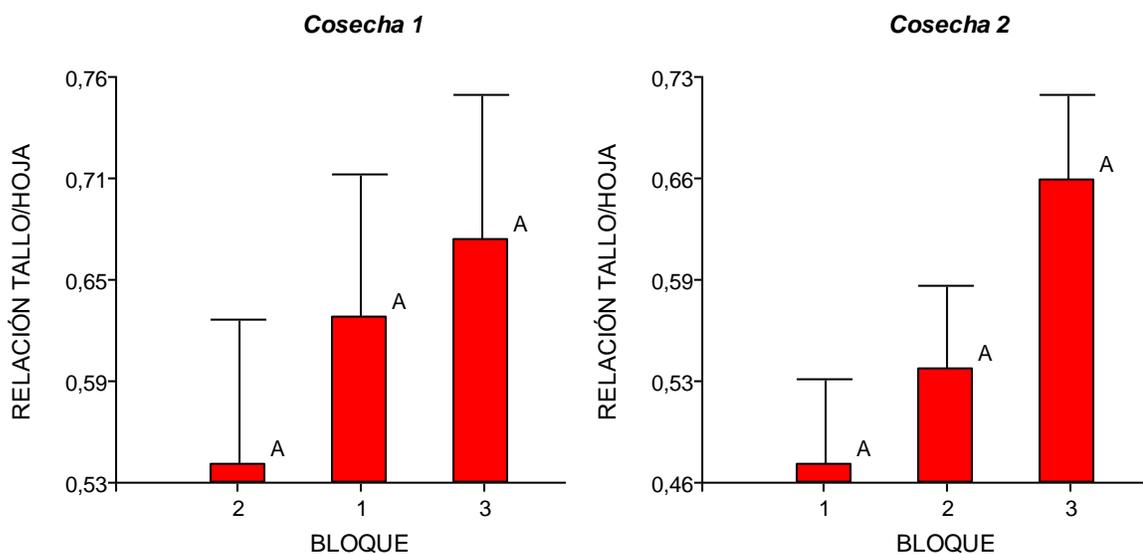


Gráfico 14 Comparativo de Bloques variable Tallo / Hoja de *Digitaria decumbens stent*, primer y segundo ciclo en Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.



En la tabla 17 y el grafico 13 se comparan los resultados en cuanto a relación tallo – Hoja de las 2 cosechas, los mismos no presentan diferencias estadísticamente significativas, sin embargo; se observa que los tratamientos 5 y 7 son los de la relación más baja. En el resto de los tratamientos los datos son muy similares siendo en la primera cosecha el 3 y en la segunda al 4 los de mejor resultado.

4.2 Análisis de Correlaciones

Tabla 18. Correlaciones Pearson de variables al azar.

Variable	Correlación
Nitrógeno foliar – Biomasa	0.55
Nitrógeno foliar - Proteína	0.85
Nitrógeno Foliar - NDVI	0.99
Altura de plantas - NDVI	-0.52

De acuerdo con el análisis de los datos mediante la metodología de Pearson de la tabla 18, se pueden determinar las siguientes correlaciones:

- A- De acuerdo con las correlaciones de Pearson cuando los resultados son positivos y cercanos a 1 existe una relación muy directa entre las variables evaluadas, tal y como lo demuestra el Nitrógeno Foliar y su relación directa con la Proteína, la biomasa y el NDVI.
- B- Los contenidos de nitrógeno foliar influyen directamente en los rendimientos (biomasa), así como en los contenidos de proteína del pasto haciéndolo más nutritivo para la alimentación animal y en el indicador de NDVI que determina el índice de vegetación del cultivo.
- C- Por otra parte, cuando los resultados son cercanos a -1 significa que existe poca o nula relación entre las variables, como se demuestra en los datos de altura de

planta y NDVI, lo que demuestra que el índice de vegetación no se correlaciona con la altura de la planta, ya que esta correlación presentó un valor de -0,52.

Tabla 19. Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de *Digitaria decumbens stent*, primera cosecha. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste.

ANALISIS ECONOMICO DE CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS PRIMERA COSECHA					
TRATAMIENTO	RENDIMIENTO PACAS/HA	PRECIO PACA	INGRESOS	GASTOS TOTALES	RELACION C/B
T-1	271,61	¢ 2 000,00	¢ 543 220,00	¢ 379 516,72	1,43
T-2	288,58	¢ 2 000,00	¢ 577 160,00	¢ 365 061,04	1,58
T-3	250,00	¢ 2 000,00	¢ 500 000,00	¢ 317 275,36	1,58
T-4	231,48	¢ 2 000,00	¢ 462 960,00	¢ 281 525,68	1,64
T-5	225,31	¢ 2 000,00	¢ 450 620,00	¢ 253 186,00	1,78
T-6	310,18	¢ 2 000,00	¢ 620 360,00	¢ 384 658,72	1,61
T-7	208,34	¢ 2 000,00	¢ 416 680,00	¢ 225 004,00	1,85

Tabla 20. Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de *Digitaria decumbens stent*, segunda cosecha. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste

ANALISIS ECONOMICO DE CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS SEGUNDA COSECHA					
TRATAMIENTO	RENDIMIENTO PACAS/HA	COSTO PACA	INGRESOS	GASTOS TOTALES	RELACION C/B
T-1	253,09	¢ 2 000,00	¢ 506 180,00	¢ 368 404,72	1,37
T-2	283,95	¢ 2 000,00	¢ 567 900,00	¢ 362 283,04	1,57
T-3	209,88	¢ 2 000,00	¢ 419 760,00	¢ 293 203,36	1,43
T-4	191,36	¢ 2 000,00	¢ 382 720,00	¢ 257 453,68	1,49
T-5	145,06	¢ 2 000,00	¢ 290 120,00	¢ 205 036,00	1,41
T-6	305,56	¢ 2 000,00	¢ 611 120,00	¢ 381 886,72	1,60
T-7	141,98	¢ 2 000,00	¢ 283 960,00	¢ 185 188,00	1,53

Tabla 21 Análisis Financiero (relación costo-beneficio) de *Digitaria decumbens stent*, ambas cosechas. Finca la Gaviota en Cañas, Guanacaste

ANALISIS ECONOMICO DE CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS TOTALES					
TRATAMIENTO	RENDIMIENTO PACAS/HA	COSTO PACA	INGRESOS	GASTOS TOTALES	RELACION C/B
T-1	525	¢ 2,000.00	¢ 1,049,400.00	¢ 747,921.45	1.40
T-2	573	¢ 2,000.00	¢ 1,145,060.00	¢ 727,344.09	1.57
T-3	460	¢ 2,000.00	¢ 919,760.00	¢ 610,478.72	1.51
T-4	423	¢ 2,000.00	¢ 845,680.00	¢ 538,979.36	1.57
T-5	370	¢ 2,000.00	¢ 740,740.00	¢ 458,222.00	1.62
T-6	616	¢ 2,000.00	¢ 1,231,480.00	¢ 766,545.45	1.61
T-7	350	¢ 2,000.00	¢ 700,640.00	¢ 410,192.00	1.71

4.3 Relación Costo Beneficio (tablas 19 y 20)

Analizando la tabla 19, evidentemente los tratamientos donde no hay aplicación alguna de nitrógeno presentan el mayor índice de relación costo beneficio. Esto se debe a los altos costos del fertilizante nitrogenado, el cual ha venido en aumento en los últimos meses, superando el 300% de aumento de precios. Sin embargo, los tratamientos donde se redujo porcentualmente por debajo del 50 % se obtiene un muy buena utilidad y rendimiento productivo en campo, superando a los testigos absolutos en rendimiento y teniendo un buen equilibrio en cuanto a costos y utilidades.

Sin embargo, durante el segundo ciclo de cosecha (tabla 20), y con un mejor establecimiento de la bacteria, los tratamientos con reducción de fertilizantes porcentual logran aumentar su producción de pacas en campo y compensan considerablemente la

relación costo beneficio, muy similar a los tratamientos testigo y cero aplicaciones de nitrógeno.

Esto demuestra que desde el punto de vista financiero el uso de fijadores de nitrógeno podría representar una alternativa que permita mejorar producciones y reducir el uso de fertilizantes, mismos que actualmente y debido a la crisis mundial de precios y materias primas amenaza al sector agropecuario.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. El uso de fijadores de nitrógeno podría convertirse en una práctica de uso frecuente que permita disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados en la producción de pasto en periodos de baja demanda, aun manteniendo adecuados niveles de proteína en el producto final.
2. Los rendimientos por hectáreas de pacas podrían mejorar con el uso de fijadores de nitrógeno, aun manteniendo el 100 % del fertilizante o reduciendo sus aplicaciones hasta en un 25 % según resultados obtenidos en el presente trabajo.
3. La mejora de los rendimientos de cantidad de pacas por hectárea podría significar un mejor aprovechamiento de las áreas y por consiguiente una mejor eficiencia en los diferentes proyectos de producción de heno, optimizando así el uso de los terrenos y sacando un mejor provecho, lo que además aumentaría la rentabilidad.
4. Se podría lograr una reducción de la contaminación de cuerpos de agua con nitratos y disminuir la emisión de gases efectos invernaderos si se pone en práctica la inoculación de *Azospirillum sp* en los forrajes, esto permitiría poder disminuir además la aparición de especies acuáticas como la *Thypha latifolia* y lirios acuáticos como *Eichhornia crassipes* que afectan negativamente a las especies que normalmente habitan estos cuerpos.
5. El contenido de nitrógeno tiene relación directa con el contenido de proteína de *Digitaria decumbens*, por tanto, la calidad de la pastura dependerá de la eficiencia nutricional del mismo.
6. Reducir las aplicaciones nitrogenadas usando *Azospirillum brasilense* no afecta los contenidos de proteína de *Digitaria decumbens*, pero si representa una disminución importante de los costos de producción.

7. Según los resultados obtenidos en el presente trabajo se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, dado que queda comprobado que *Azospirillum brasilense* si es una alternativa que promueve la fijación de nitrógeno en pasto transvala *Digitaria decumbens stent*.
8. Según el análisis financiero se concluye que la mejor relación costo beneficio desde el punto de vista económico es el tratamiento siete (sin nitrógeno ni bacteria) ya que representa un alto valor en la relación, esto aplicaría si se está trabajando un área que ya va a ser eliminada para algún cambio de cultivo ya que agronómicamente mas de un ciclo sin fertilización significaría una afectación importante al cultivo.
9. Desde el punto de vista agronómico – financiero se concluye que el mejor escenario es el tratamiento seis (100 kg de nitrógeno sin bacteria) que en ambas cosechas representó la mayor relación costo beneficio.
10. El tratamiento dos (reducción de 25 kg de nitrógeno + bacteria) representa una alternativa muy interesante si se analiza tanto ambiental como económica y agronómicamente, debido a que se reduce un 25 % del nitrógeno químico aplicado, su relación costo beneficio es sumamente alta superada solo por el tratamiento seis y además representa una disminución de fuente de contaminación tanto de agua como de la capa de ozono.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que:

1. La aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno complementa en gran manera la reducción de fertilizantes nitrogenados. Se recomienda el uso constante de la misma.
2. Para periodos de verano, se recomienda el uso de la bacteria con dosis reducidas de nitrógeno en un 25%. Siempre y cuando se realicen aplicaciones de los microorganismos o bacterias por cada cosecha realizada.
3. Durante los periodos de inicio de las lluvias finales de abril y principio de mayo, se recomienda cerrar la última cosecha con una reducción del 50% de nitrógeno sintético, dado que la cosecha se realizará en los meses de julio y agosto, este ciclo productivo se extiende por más de 45 días, por lo que una fertilización completa podría generar una maduración excesivo del pasto, lo que provocaría un aumento del proceso de lignificación tanto de tallos y hojas, produciendo pacas de menor calidad.
4. Durante la temporada de invierno y analizando el potencial de fijación de nitrógeno, se recomienda la reducción total del nitrógeno, únicamente con una aplicación de refuerzo de la bacteria durante los meses de septiembre y octubre.
5. Para la primera cosecha de verano (diciembre), y dado que viene precedido de cero aplicaciones de fertilizante, se recomienda la aplicación del 75% del nitrógeno en conjunto con la bacteria, ya que se demostró en los resultados obtenidos, no existen diferencia significativa de rendimientos entre el 100 % y 75 % de la dosificación de nitrógeno, esto traería un beneficio económico al productor.

6. Actualmente el fertilizante nitrogenado ha aumentado los costos hasta un 400%. Por lo tanto, reducir un hasta un 25% el nitrógeno se garantiza un ahorro considerable en los costos de producción y no se vería amenazado la productividad ni rentabilidad del sistema de producción

Capítulo VI. Bibliografía y Anexos

6.1 Bibliografía

- Aldana, J. M. (2011). *Laboratorios A-L de Mexico*. Obtenido de <http://www.allabsmexico.com.mx>
- Bernal J. & Espinosa J. (2003). *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. Potash and Phosphate Institute of Canada.
- Bertsch, F. (1986). Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica, 86.
- Bertsch, F. (2007). *Muestreo foliar*. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/LSF/MuestreoFoliar.pdf>
- Bruno O.A, Castro H, Comerón, E.A, Diaz M.C, Guaita S, Gaggiotti, M.C,& Romero L.A (1995). *Técnicas de muestreo y parametros de calidad de los recursos forrajeros*, INTA.http://rafaela.inta.gov.ar/info/pubtecnicas/inta_rafaela_publicacion_tecnica_056.pdf
- Cabalceta, G. (1999). *Fertilización y nutrición de forrajes de altura*. Centro de investigaciones agronomicas, Universidad de Costa Rica. <http://www.cina.ucr.ac.cr/index.php/es/servicios/laboratorio-bromatologia>
- Cabalceta, G., & Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrientes en Ultisoles, Inseptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomia Costarricense*, 30(2), 31-44. Obtenido de https://www.mag.go.cr/rev_agr/v30n02_031.pdf
- Caballero-Mellado, J. (s. f.). El género *Azospirillum*. En E. Martínez, & J. C. Martínez, *Microbios*. México: UNAM.
- Centro Investigación Nutrición Animal: Universidad de Costa Rica. (2021). *Laboratorio Bromatología*. Obtenido de CINA: <https://cina.ucr.ac.cr/index.php/es/servicios/laboratorio-bromatologia>
- Cerdas, R. (2012). Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un modelo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *Revista de las Sedes Regionales*, 12(24), 109-128. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/666/66622581007.pdf>
- Diaz-Romeu, G., & Hunter, A. (1978). *Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero*. Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba: CATIE. Obtenido de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3115/Metodologias_de_muestreo_de_suelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Estrada J. (2002). *Pastos y forrajes para el trópico colombiano*. Editorial Universidad de caldas.

- Fallik, E. and Okon, Y. (1996). Inoculaciones of *Azospirillum brasilense*: biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays*. *Soil Biol. Biochem.* 28(1):123–126.
- García, S. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. (3), 173- 186. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3761553>
- García, J. P. ,& Espinosa, J. (2009). Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas*.
- Hatfield, J.L.,& Follet, R.F. (2008). *Nitrogen Management in the Environment: Sources Problems, and Management* (2nd ed). Elsevier.
- Howelwer R. H (1983). Analisis del tejido vegetal en el diagnostico de problemas nutricionales. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia, 1983.
- INTAGRI. (2018). Valor Nutritivo de los Forrajes y su Relación con la Nutrición Proteica de Rumiantes. INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/valor-nutritivo-de-los-forrajes-y-su-relacion-con-la-nutricion-proteica>
- Instituto de la Potasa y el Fosfato [INPOFOS]. (1997). *Manual internacional de la fertilidad del suelo*. INPOFOS.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (2012). Manual de Fertilidad y evaluación de Suelo. INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_89_manual_de_fertilidad_1__1_.pdf
- Lara Porras, A. M. (2001). Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS. España: Proyecto sur.
- Lassaga, S. S. (2011). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad, 7-16.
- Leveau, J.H., Lindow, S.E. (2005). Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290. *Applied and Environmental Microbiology* 71(5), 2365-2371.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación Biológica de Nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola* Vol. 4, (1) pp. 1-20 recuperado de <http://www.bioline.org.br/request?cg04001>
- Molina E. (2007) Análisis de suelos y su interpretación. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR.

- Molina E. & Meléndez G. (2002) Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- Mora Valverde David (2012). ¿De que manera se analizan los pastos de su finca en el laboratorio?, estacion experimental Alfredo Volio Mata, Universidad de Costa Rica.
- Morales, J., & Acuña, V. (2009). Validación de la respuesta del pasto transvala (*Digitaria eriantha*) n producción y calidad de heno bajo riego. *Alcances tecnológicos*, 7(1), 19-36. doi:<https://doi.org/10.35486/at.v7i1.56>
- Morales, J., Acuña, V., & Cruz, A. (2003). Industrialización del heno de calidad en sistemas bajo riego en Costa Rica. Costa Rica: MAG.
- Nguyen, M.L., Spaepen, S., du Jardin, P., Delaplace, P. (2019). Biostimulant effects of rhizobacteria on wheat growth and nutrient uptake depend on nitrogen application and plant development, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(1), 58-73.
- Obando, C. J. & Jarquin, C. (2020). Evaluación de rendimientos del cultivo de arroz en toneladas por hectárea mediante interpolación de resultados de campo durante los años 2015-2020 en finca Pelon de la Bajura. Universidad Técnica Nacional.
- O'Hara, G. W.; Davey, M. R. and Lucas, J. A. (1981). Effect of inoculation of *Zea mays* with *Azospirillum brasilense* strains under temperate conditions. *Microbiol.* 27(9):871–877.
- Orchardson, E. (2020). El nitrógeno en la agricultura. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- Ortega, E., Fernández, L., Ortega, P., & Rodés, R. (2004). La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar. Habana: Universidad de La Habana.
- Palma, M., & Sánchez, O. (2001). *Agrostología*. Editorial UNED.
- Parades, M. C. (2013). *Fijación biológica denitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Tesis de Licenciatura]. Argentina: Universidad Católica Argentina. Obtenido de <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/393/1/doc.pdf>
- Ricoy, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Revista do Centro de Educação*, 31 (1), 11-22
- Steenhoudt, O., Vanderleyden, J. (2000). *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects, *FEMS microbiology reviews*, 24(4), 487-506.
- Schweizer, S. (2011). *Muestreo y anáñoso de suelo para diagnostico de fertilidad*. INTA/MAG. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

Valdes, V., Aguilar, J. ,& Sanabria, A. (1992). Tecnología de producción para el cultivo de pastos en riego . Editorial Talleres gráficos de IICA.

Vital, L., & Mendoza, H.A. (2014). Azospirillum: habitante de las gramíneas. Revista de divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana, XXVII(2).

6.2 Anexos

Anexo 1. recolección de datos de altura de planta en centímetros de pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		Altura (cm)	Altura (cm)
		Variable	Variable
Bloque	Tratamiento	PRIMERA COSECHA Altura (cm)	SEGUNDA COSECHA Altura (cm)
B1	T-1	58	36
B1	T-1	62	49
B1	T-1	56	83
B1	T-1	50	55
B1	T-1	49	54
B1	T-1	54	54
B1	T-1	48	44
B1	T-1	54	61
B1	T-1	54	49
B1	T-1	59	52
B1	T-1	66	49
B1	T-1	72	53
B1	T-1	68	63
B1	T-1	63	50
B1	T-1	66	60
B1	T-2	42	46
B1	T-2	44	48
B1	T-2	48	52
B1	T-2	48	69
B1	T-2	50	58
B1	T-2	51	58
B1	T-2	53	61
B1	T-2	49	66
B1	T-2	52	50
B1	T-2	54	50
B1	T-2	54	55
B1	T-2	44	54
B1	T-2	41	60
B1	T-2	40	51
B1	T-2	48	56
B1	T-3	52	45
B1	T-3	50	43
B1	T-3	59	49

B1	T-3	58	48
B1	T-3	51	55
B1	T-3	54	55
B1	T-3	52	59
B1	T-3	56	63
B1	T-3	52	63
B1	T-3	58	58
B1	T-3	56	54
B1	T-3	59	57
B1	T-3	55	59
B1	T-3	54	54
B1	T-3	55	57
B1	T-4	41	49
B1	T-4	45	55
B1	T-4	48	48
B1	T-4	42	48
B1	T-4	34	57
B1	T-4	41	53
B1	T-4	38	56
B1	T-4	46	55
B1	T-4	53	45
B1	T-4	55	53
B1	T-4	51	65
B1	T-4	42	48
B1	T-4	48	53
B1	T-4	46	60
B1	T-4	51	54
B1	T-5	56	54
B1	T-5	59	42
B1	T-5	67	46
B1	T-5	48	40
B1	T-5	60	41
B1	T-5	57	52
B1	T-5	62	56
B1	T-5	66	57
B1	T-5	48	51
B1	T-5	54	49
B1	T-5	59	55
B1	T-5	65	46
B1	T-5	69	58
B1	T-5	61	49

B1	T-5	58	62
B1	T-6	56	61
B1	T-6	52	57
B1	T-6	54	63
B1	T-6	71	56
B1	T-6	58	72
B1	T-6	61	59
B1	T-6	60	66
B1	T-6	46	57
B1	T-6	49	73
B1	T-6	52	59
B1	T-6	59	55
B1	T-6	62	66
B1	T-6	66	60
B1	T-6	54	69
B1	T-6	59	59
B1	T-7	46	44
B1	T-7	38	50
B1	T-7	37	41
B1	T-7	43	47
B1	T-7	34	49
B1	T-7	36	48
B1	T-7	39	44
B1	T-7	41	44
B1	T-7	44	38
B1	T-7	32	41
B1	T-7	46	36
B1	T-7	38	45
B1	T-7	44	42
B1	T-7	40	53
B1	T-7	46	48
B2	T-1	37	51
B2	T-1	39	59
B2	T-1	38	48
B2	T-1	28	47
B2	T-1	49	52
B2	T-1	33	53
B2	T-1	39	54
B2	T-1	38	49
B2	T-1	37	42
B2	T-1	33	47

B2	T-1	36	40
B2	T-1	41	45
B2	T-1	34	50
B2	T-1	33	40
B2	T-1	46	48
B2	T-2	32	49
B2	T-2	39	43
B2	T-2	44	48
B2	T-2	41	45
B2	T-2	44	48
B2	T-2	47	47
B2	T-2	46	43
B2	T-2	48	45
B2	T-2	47	39
B2	T-2	52	43
B2	T-2	49	46
B2	T-2	53	42
B2	T-2	40	42
B2	T-2	45	47
B2	T-2	51	43
B2	T-3	46	42
B2	T-3	40	48
B2	T-3	53	51
B2	T-3	45	50
B2	T-3	41	44
B2	T-3	39	42
B2	T-3	34	43
B2	T-3	39	41
B2	T-3	42	43
B2	T-3	39	46
B2	T-3	36	39
B2	T-3	32	50
B2	T-3	33	40
B2	T-3	36	41
B2	T-3	40	45
B2	T-4	42	55
B2	T-4	48	58
B2	T-4	61	51
B2	T-4	58	59
B2	T-4	68	54
B2	T-4	57	59

B2	T-4	54	56
B2	T-4	74	67
B2	T-4	64	60
B2	T-4	47	61
B2	T-4	56	59
B2	T-4	52	59
B2	T-4	56	56
B2	T-4	54	53
B2	T-4	58	56
B2	T-5	30	30
B2	T-5	51	60
B2	T-5	54	47
B2	T-5	50	57
B2	T-5	71	52
B2	T-5	52	44
B2	T-5	46	50
B2	T-5	55	57
B2	T-5	54	48
B2	T-5	49	63
B2	T-5	54	45
B2	T-5	44	56
B2	T-5	57	49
B2	T-5	59	54
B2	T-5	68	61
B2	T-6	49	60
B2	T-6	51	53
B2	T-6	51	70
B2	T-6	58	54
B2	T-6	48	49
B2	T-6	44	52
B2	T-6	58	52
B2	T-6	50	58
B2	T-6	59	51
B2	T-6	51	49
B2	T-6	44	50
B2	T-6	49	49
B2	T-6	46	56
B2	T-6	56	54
B2	T-6	56	47
B2	T-7	42	53
B2	T-7	42	42

B2	T-7	34	40
B2	T-7	41	49
B2	T-7	31	50
B2	T-7	38	55
B2	T-7	33	40
B2	T-7	38	46
B2	T-7	42	48
B2	T-7	34	42
B2	T-7	40	51
B2	T-7	43	37
B2	T-7	30	52
B2	T-7	56	41
B2	T-7	52	50
B3	T-1	61	51
B3	T-1	65	67
B3	T-1	72	63
B3	T-1	60	73
B3	T-1	66	51
B3	T-1	62	63
B3	T-1	68	58
B3	T-1	67	65
B3	T-1	64	67
B3	T-1	69	66
B3	T-1	66	54
B3	T-1	68	53
B3	T-1	59	59
B3	T-1	63	59
B3	T-1	70	63
B3	T-2	79	53
B3	T-2	54	74
B3	T-2	52	67
B3	T-2	56	58
B3	T-2	51	58
B3	T-2	55	62
B3	T-2	52	57
B3	T-2	54	77
B3	T-2	51	59
B3	T-2	49	65
B3	T-2	52	68
B3	T-2	54	59
B3	T-2	56	59

B3	T-2	58	65
B3	T-2	55	79
B3	T-3	42	45
B3	T-3	56	46
B3	T-3	52	53
B3	T-3	54	40
B3	T-3	48	46
B3	T-3	54	42
B3	T-3	51	49
B3	T-3	52	50
B3	T-3	49	43
B3	T-3	50	51
B3	T-3	53	48
B3	T-3	41	43
B3	T-3	44	45
B3	T-3	56	47
B3	T-3	46	41
B3	T-4	36	39
B3	T-4	37	37
B3	T-4	39	35
B3	T-4	31	46
B3	T-4	37	43
B3	T-4	41	31
B3	T-4	36	43
B3	T-4	36	43
B3	T-4	40	47
B3	T-4	41	42
B3	T-4	37	46
B3	T-4	32	38
B3	T-4	34	38
B3	T-4	37	41
B3	T-4	44	39
B3	T-5	29	57
B3	T-5	41	43
B3	T-5	34	52
B3	T-5	30	46
B3	T-5	39	43
B3	T-5	36	50
B3	T-5	39	55
B3	T-5	31	45
B3	T-5	42	49

B3	T-5	44	51
B3	T-5	30	50
B3	T-5	33	48
B3	T-5	40	48
B3	T-5	46	50
B3	T-5	42	51
B3	T-6	42	52
B3	T-6	39	42
B3	T-6	36	46
B3	T-6	44	42
B3	T-6	42	47
B3	T-6	48	43
B3	T-6	46	50
B3	T-6	37	48
B3	T-6	40	60
B3	T-6	39	48
B3	T-6	35	46
B3	T-6	41	41
B3	T-6	39	48
B3	T-6	42	54
B3	T-6	47	52
B3	T-7	46	39
B3	T-7	39	50
B3	T-7	39	46
B3	T-7	44	47
B3	T-7	36	54
B3	T-7	39	48
B3	T-7	37	51
B3	T-7	42	54
B3	T-7	48	50
B3	T-7	44	46
B3	T-7	36	44
B3	T-7	38	46
B3	T-7	41	40
B3	T-7	43	44
B3	T-7	37	30

Anexo 2. recolección de datos NDVI, de pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA	SEGUNDA COSECHA
		VARIABLE	VARIABLE
Bloque	Tratamiento	Primera cosecha Spad NDVI	Segunda cosecha Spad NDVI
B1	T-1	0,83	0,9
B1	T-1	0,84	0,9
B1	T-1	0,85	0,82
B1	T-1	0,92	0,89
B1	T-1	0,84	0,89
B1	T-1	0,9	0,86
B1	T-1	0,88	0,9
B1	T-1	0,88	0,8
B1	T-1	0,86	0,79
B1	T-1	0,87	0,87
B1	T-2	0,83	0,86
B1	T-2	0,79	0,89
B1	T-2	0,78	0,88
B1	T-2	0,87	0,82
B1	T-2	0,86	0,92
B1	T-2	0,83	0,85
B1	T-2	0,86	0,86
B1	T-2	0,84	0,84
B1	T-2	0,88	0,83
B1	T-2	0,86	0,8
B1	T-3	0,87	0,66
B1	T-3	0,79	0,84
B1	T-3	0,84	0,75
B1	T-3	0,85	0,9
B1	T-3	0,90	0,90
B1	T-3	0,87	0,88
B1	T-3	0,89	0,87
B1	T-3	0,88	0,75
B1	T-3	0,87	0,83
B1	T-3	0,81	0,81
B1	T-4	0,86	0,71
B1	T-4	0,81	0,83
B1	T-4	0,82	0,77
B1	T-4	0,84	0,79
B1	T-4	0,84	0,87

B1	T-4	0,80	0,84
B1	T-4	0,85	0,79
B1	T-4	0,85	0,85
B1	T-4	0,84	0,82
B1	T-4	0,82	0,83
B1	T-5	0,83	0,89
B1	T-5	0,81	0,87
B1	T-5	0,84	0,86
B1	T-5	0,83	0,87
B1	T-5	0,85	0,85
B1	T-5	0,87	0,84
B1	T-5	0,86	0,80
B1	T-5	0,85	0,82
B1	T-5	0,86	0,83
B1	T-5	0,85	0,81
B1	T-6	0,83	0,88
B1	T-6	0,83	0,87
B1	T-6	0,81	0,88
B1	T-6	0,83	0,77
B1	T-6	0,85	0,90
B1	T-6	0,89	0,86
B1	T-6	0,84	0,88
B1	T-6	0,85	0,89
B1	T-6	0,85	0,86
B1	T-6	0,83	0,9
B1	T-7	0,83	0,80
B1	T-7	0,85	0,75
B1	T-7	0,83	0,81
B1	T-7	0,85	0,85
B1	T-7	0,83	0,81
B1	T-7	0,82	0,78
B1	T-7	0,85	0,88
B1	T-7	0,82	0,78
B1	T-7	0,82	0,85
B1	T-7	0,84	0,84
B2	T-1	0,75	0,81
B2	T-1	0,80	0,76
B2	T-1	0,70	0,86
B2	T-1	0,74	0,72
B2	T-1	0,68	0,86
B2	T-1	0,79	0,80

B2	T-1	0,76	0,76
B2	T-1	0,80	0,83
B2	T-1	0,80	0,83
B2	T-1	0,78	0,85
B2	T-2	0,83	0,82
B2	T-2	0,84	0,91
B2	T-2	0,85	0,81
B2	T-2	0,84	0,75
B2	T-2	0,85	0,8
B2	T-2	0,85	0,89
B2	T-2	0,88	0,82
B2	T-2	0,88	0,85
B2	T-2	0,81	0,79
B2	T-2	0,80	0,85
B2	T-3	0,78	0,83
B2	T-3	0,77	0,83
B2	T-3	0,87	0,86
B2	T-3	0,75	0,72
B2	T-3	0,84	0,77
B2	T-3	0,85	0,80
B2	T-3	0,83	0,77
B2	T-3	0,88	0,90
B2	T-3	0,80	0,79
B2	T-3	0,80	0,84
B2	T-4	0,84	0,85
B2	T-4	0,74	0,85
B2	T-4	0,87	0,86
B2	T-4	0,81	0,84
B2	T-4	0,88	0,86
B2	T-4	0,86	0,89
B2	T-4	0,87	0,90
B2	T-4	0,85	0,85
B2	T-4	0,83	0,79
B2	T-4	0,83	0,88
B2	T-5	0,85	0,85
B2	T-5	0,79	0,89
B2	T-5	0,86	0,83
B2	T-5	0,79	0,82
B2	T-5	0,84	0,87
B2	T-5	0,84	0,86
B2	T-5	0,82	0,82

B2	T-5	0,81	0,83
B2	T-5	0,85	0,83
B2	T-5	0,83	0,83
B2	T-6	0,87	0,88
B2	T-6	0,87	0,84
B2	T-6	0,83	0,87
B2	T-6	0,85	0,85
B2	T-6	0,87	0,89
B2	T-6	0,85	0,89
B2	T-6	0,86	0,89
B2	T-6	0,87	0,88
B2	T-6	0,88	0,82
B2	T-6	0,84	0,93
B2	T-7	0,61	0,86
B2	T-7	0,83	0,75
B2	T-7	0,84	0,83
B2	T-7	0,76	0,85
B2	T-7	0,75	0,72
B2	T-7	0,78	0,71
B2	T-7	0,80	0,76
B2	T-7	0,78	0,77
B2	T-7	0,76	0,72
B2	T-7	0,81	0,79
B3	T-1	0,84	0,87
B3	T-1	0,89	0,88
B3	T-1	0,86	0,88
B3	T-1	0,80	0,87
B3	T-1	0,89	0,87
B3	T-1	0,83	0,90
B3	T-1	0,82	0,89
B3	T-1	0,80	0,89
B3	T-1	0,78	0,84
B3	T-1	0,85	0,87
B3	T-2	0,86	0,86
B3	T-2	0,85	0,87
B3	T-2	0,82	0,89
B3	T-2	0,88	0,88
B3	T-2	0,86	0,85
B3	T-2	0,70	0,89
B3	T-2	0,82	0,88
B3	T-2	0,82	0,88

B3	T-2	0,82	0,87
B3	T-2	0,82	0,88
B3	T-3	0,81	0,84
B3	T-3	0,68	0,84
B3	T-3	0,74	0,85
B3	T-3	0,7	0,75
B3	T-3	0,76	0,86
B3	T-3	0,82	0,83
B3	T-3	0,76	0,82
B3	T-3	0,61	0,84
B3	T-3	0,78	0,80
B3	T-3	0,82	0,80
B3	T-4	0,65	0,90
B3	T-4	0,84	0,88
B3	T-4	0,68	0,83
B3	T-4	0,72	0,83
B3	T-4	0,82	0,80
B3	T-4	0,80	0,80
B3	T-4	0,80	0,87
B3	T-4	0,72	0,88
B3	T-4	0,71	0,83
B3	T-4	0,73	0,89
B3	T-5	0,71	0,78
B3	T-5	0,79	0,83
B3	T-5	0,76	0,82
B3	T-5	0,79	0,80
B3	T-5	0,52	0,84
B3	T-5	0,63	0,85
B3	T-5	0,71	0,84
B3	T-5	0,62	0,78
B3	T-5	0,81	0,78
B3	T-5	0,75	0,75
B3	T-6	0,85	0,88
B3	T-6	0,83	0,84
B3	T-6	0,99	0,85
B3	T-6	0,93	0,85
B3	T-6	0,85	0,91
B3	T-6	0,73	0,92
B3	T-6	0,76	0,87
B3	T-6	0,82	0,89
B3	T-6	0,79	0,86

B3	T-6	0,87	0,83
B3	T-7	0,72	0,76
B3	T-7	0,73	0,79
B3	T-7	0,78	0,82
B3	T-7	0,73	0,79
B3	T-7	0,80	0,78
B3	T-7	0,84	0,75
B3	T-7	0,75	0,83
B3	T-7	0,75	0,82
B3	T-7	0,72	0,93
B3	T-7	0,76	0,61

Anexo 3. Recolección de datos Biomasa (Kg).

		PRIMERA COSECHA	SEGUNDA COSECHA
		Variable	Variable
Bloque	Tratamiento	Primera cosecha Biomasa (Kg)	Segunda cosecha Biomasa (Kg)
B1	T-1	43	39
B1	T-2	31	36
B1	T-3	52	40
B1	T-4	30	19
B1	T-5	31	21
B1	T-6	37	32
B1	T-7	28,5	18
B2	T-1	19	14
B2	T-2	32,5	28
B2	T-3	14	17
B2	T-4	26	24
B2	T-5	29	14
B2	T-6	50	43
B2	T-7	19,5	10
B3	T-1	26	29
B3	T-2	30	28
B3	T-3	15	11
B3	T-4	19	19
B3	T-5	13	12
B3	T-6	13,5	24
B3	T-7	19,5	18

Anexo 4. Estimación de rendimiento de pacas por hectárea de Pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA		SEGUNDA COSECHA	
		Variable		Variable	
Bloque	Tratamiento	Primera cosecha Biomasa (Kg)	Primera cosecha PACAS COSECHADA S/HA	Segunda cosecha Biomasa (Kg)	Segunda cosecha PACAS COSECHADA S/HA
B1	T-1	43	398,15	39	361,11
B1	T-2	31	287,04	36	333,33
B1	T-3	52	481,48	40	370,37
B1	T-4	30	277,78	19	175,93
B1	T-5	31	287,04	21	194,44
B1	T-6	37	342,59	32	296,30
B1	T-7	28,5	263,89	18	166,67
B2	T-1	19	175,93	14	129,63
B2	T-2	32,5	300,93	28	259,26
B2	T-3	14	129,63	17	157,41
B2	T-4	26	240,74	24	222,22
B2	T-5	29	268,52	14	129,63
B2	T-6	50	462,96	43	398,15
B2	T-7	19,5	180,56	10	92,59
B3	T-1	26	240,74	29	268,52
B3	T-2	30	277,78	28	259,26
B3	T-3	15	138,89	11	101,85
B3	T-4	19	175,93	19	175,93
B3	T-5	13	120,37	12	111,11
B3	T-6	13,5	125,00	24	222,22
B3	T-7	19,5	180,56	18	166,67

Anexo 5. Contenido de Nitrógeno en Suelo de Pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA		SEGUNDA COSECHA	
		VARIABLES		VARIABLES	
BLOQUE	TRATAMIENTO	Primera cosecha C	Primera cosecha N	Segunda cosecha C	Segunda cosecha N
B1	T-1	2,97	0,23	2,99	0,24
B1	T-2	2,62	0,19	2,66	0,21
B1	T-3	4,48	0,28	4,45	0,29
B1	T-4	2,99	0,23	2,97	0,26
B1	T-5	3,15	0,25	3,13	0,26
B1	T-6	4,03	0,29	4,08	0,31
B1	T-7	3,36	0,24	3,39	0,22
B2	T-1	3,08	0,23	3,12	0,25
B2	T-2	1,93	0,17	1,99	0,21
B2	T-3	3,01	0,22	2,98	0,22
B2	T-4	2,52	0,20	2,56	0,23
B2	T-5	3,09	0,23	3,13	0,24
B2	T-6	2,75	0,22	2,8	0,25
B2	T-7	3,29	0,25	3,28	0,23
B3	T-1	2,76	0,22	2,77	0,26
B3	T-2	2,26	0,19	2,29	0,18
B3	T-3	3,22	0,25	3,31	0,32
B3	T-4	2,86	0,24	2,93	0,22
B3	T-5	3,14	0,24	3,17	0,25
B3	T-6	2,08	0,17	2,06	0,21
B3	T-7	2,64	0,20	2,62	0,19

Anexo 6. Contenido de Nitrógeno foliar de Pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA	SEGUNDA COSECHA
		VARIABLE	VARIABLE
BLOQUE	TRATAMIENTO	Primera cosecha N FOLIAR	Segunda cosecha N FOLIAR
B1	T-1	1,32	1,33
B1	T-2	1,79	1,77
B1	T-3	1,09	1,07
B1	T-4	1,37	1,36
B1	T-5	1,48	1,45
B1	T-6	1,66	1,69
B1	T-7	1,05	1,1
B2	T-1	1,37	1,41
B2	T-2	1,31	1,32
B2	T-3	1,35	1,39
B2	T-4	1,63	1,73
B2	T-5	1,49	1,54
B2	T-6	1,26	1,33
B2	T-7	1,27	1,29
B3	T-1	1,44	1,55
B3	T-2	1,47	1,48
B3	T-3	1,10	1,14
B3	T-4	1,00	1,02
B3	T-5	1,33	1,38
B3	T-6	1,25	1,29
B3	T-7	1,00	1,02

Anexo 7. Análisis Bromatológicos de Pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA			SEGUNDA COSECHA		
		VARIABLES			VARIABLES		
BLOQUE	TRATAMIENTO	Primera cosecha Proteína (%)	Primera cosecha FAD (%)	Primera cosecha FND (%)	Segunda cosecha Proteína (%)	Segunda cosecha FAD (%)	Segunda cosecha FND (%)
B1	T-1	8,09	42,59	79,88	8,08	42,55	79,82
B1	T-2	7,32	37,99	78,65	7,33	38,01	78,64
B1	T-3	8,98	44,7	82,45	8,95	44,56	82,47
B1	T-4	8,94	33,91	78,02	8,93	33,84	78,05
B1	T-5	6,8	39,2	82,59	6,81	39,21	82,55
B1	T-6	9,62	39,8	79,32	9,65	39,79	79,33
B1	T-7	6,6	38,8	82,45	6,62	39,78	82,46
B2	T-1	8,08	42,5	70,85	8,1	42,52	70,84
B2	T-2	10,04	38,05	82,46	10,12	38,07	82,41
B2	T-3	8,99	44,9	82,47	9,01	44,98	82,49
B2	T-4	7,7	41,82	81,84	7,74	41,8	81,87
B2	T-5	6,7	39,26	82,58	6,75	39,27	82,59
B2	T-6	8,22	42,29	80,79	8,23	42,22	80,8
B2	T-7	6,5	38,9	82,4	6,54	38,95	82,5
B3	T-1	7,8	37,95	81,09	7,89	37,99	81,1
B3	T-2	10,05	38,06	82,45	10,12	38,05	82,44
B3	T-3	8,97	44,65	82,43	8,98	44,63	82,45
B3	T-4	8,19	43,7	80,76	8,18	43,7	80,7
B3	T-5	7,39	41,91	81,69	7,42	41,95	81,75
B3	T-6	8,23	42,28	80,77	8,28	42,22	80,8
B3	T-7	7,21	41,9	81,66	7,25	41,99	81,7

Anexo 8. Relación Tallo – Hoja de Pasto Transvala (*Digitaria Decumbens Stent*), Cañas, Guanacaste, 2021.

		PRIMERA COSECHA	SEGUNDA COSECHA
		H:T = PSH/PST	H:T = PSH/PST
Bloque	Tratamiento	Primera cosecha Relación Hoja/Tallo	Segunda cosecha Relación Hoja/Tallo
B1	T-1	0,508	0,519
B1	T-2	0,592	0,563
B1	T-3	1,400	0,341
B1	T-4	0,563	0,559
B1	T-5	0,469	0,500
B1	T-6	0,469	0,444
B1	T-7	0,359	0,368
B2	T-1	0,645	0,688
B2	T-2	0,457	0,429
B2	T-3	0,708	0,696
B2	T-4	0,518	0,458
B2	T-5	0,325	0,353
B2	T-6	0,511	0,476
B2	T-7	0,593	0,640
B3	T-1	0,540	0,550
B3	T-2	0,590	0,574
B3	T-3	0,657	0,694
B3	T-4	1,083	0,929
B3	T-5	0,452	0,455
B3	T-6	0,786	0,867
B3	T-7	0,576	0,559

Anexo 9. Demarcación de parcelas



Anexo 10. Parcelas establecidas



Anexo 11. Evaluaciones biométricas de altura de plantas y NDVI.



Anexo 12. Cosecha de Ensayos



Anexo 13 Cosecha y pesaje de muestras



Anexo 14. Diseño de la parcela en campo.

