



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO "RUBEN DARIO"
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Monografía para optar al Título de Licenciado en Biología con Mención en
Administración de Recursos Naturales.

**Dinámica espacio-temporal de la cobertura y acumulación de biomasa aérea de
Vigna unguiculata (L.) Walp sometida a dos condiciones de disponibilidad de
nutrientes.**

Autores:

Br. Marcos Augusto Castillo Lorío
Br. Kenny Javier Guido Guido

Tutor:

Dr. Lester Rocha, PhD.

Managua, Nicaragua
Noviembre del 2018.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro profesor Dr. Lester Rocha, por todo su tiempo, paciencia y voluntad para guiarnos en esta investigación. Por su apoyo y esfuerzo, gracias totales.

A mi compañero y amigo Marcos Castillo, quien a pesar de los contratiempos mantuvo su fortaleza en alto frente a las adversidades y situaciones que tuvimos que afrontar para la realización de esta investigación.

A mi compañero y amigo Kenny Guido, a pesar de los contratiempos que se presentaron durante la recolección de datos y la realización del documento me apoyo en todo momento manteniéndose constante y firme en la realización de la investigación.

Al profesor David Quiroz, responsable del Zocriadero de Iguanas de UNAN Managua, por facilitarnos parte del área del Zocriadero para el establecimiento del cultivo y con ello la realización del trabajo de campo asociado a nuestra investigación, a Richard, trabajador del Zocriadero, quien fue de mucha ayuda en lo práctico y teórico durante la fase de campo de nuestro trabajo, así mismo a todo el personal asignado a los cultivos de Canavalia, por estar pendientes y dispuesto ayudarnos.

DEDICATORIA

A mi familia por crear, en especial a mis padres Nina Audely Lorío y Marcos Vinicio Castillo Arceyuth, las condiciones para poder cursar mi primaria, secundaria y ahora Universidad, es por ellos que estoy a pocos pasos de ser profesional y con esto evidenciar mis conocimientos a niveles superiores.

A mi ahora compañera de vida Belinda Victoria Castillo, que sin su apoyo condicional y entendimiento me ayudo a seguir adelante con la investigación monográfica.

A mi Hijo Augusto Sebastián Castillo Castillo, quien es el motor para seguir adelante y seguir creciendo como humano y profesional.

¡¡Muchas gracias!!

Marcos Augusto Castillo Lorío

En estas pocas palabras aprovecho para agradecerle primero a Dios, por haberme permitido vencer los obstáculos presentados y por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de este camino.

Con mucho afecto, a mis padres Mayra Guido Blanco y José Guido Guzmán, quienes me han servido de guía e inspiración, por su apoyo y esfuerzo desde el comienzo de mis estudios y para culminar esta etapa de mi desarrollo profesional.

A familiares y amigos que me animaron a continuar, Ena Guido, Yader Guido, Kevin Suarez, Cindy Orozco y Pedro Guido. Para quienes no tengo palabras suficientes ni expresar mi agradecimiento.

A todas las personas que se vieron involucradas de cualquier manera en mi proceso de formación y me impulsaron a continuar.

¡Gracias infinitas!

Kenny Javier Guido Guido

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fué evaluar la dinámica espacio-temporal de la cobertura y acumulación de biomasa aérea de *Vigna unguiculata* L. (Walp) bajo dos condiciones de disponibilidad de nutrientes. El estudio se realizó en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua). Se utilizó un Diseño completo al azar con dos tratamientos: con adición de nutrientes y sin adición de nutrientes. El tiempo de crecimiento evaluado fue de 50 días contados a partir del día de la siembra. La dinámica de la cobertura se analizó con imágenes tomadas diariamente en el área experimental y fueron procesadas con el programa SamplePoint (Booth DT, SE Cox & RD Berryman, 2006). Los resultados se analizaron mediante un Modelo Lineal Mixto Generalizado con una función de error Binomial. El comportamiento espacio-temporal de la cobertura fue modelado con un modelo de regresión de Proceso Gaussiano. La acumulación de biomasa aérea se determinó en fracción de hojas y tallos de forma individual, y los datos fueron analizados mediante Modelos lineales por Minimos Cuadrados Generalizados y Modelos Lineales Robustos. La cobertura de *V. unguiculata* fue similar en las dos condiciones de disponibilidad de nutrientes. La dinámica espacio temporal de la cobertura de *V. unguiculata* fue alta durante el período de crecimiento evaluado. La acumulación de biomasa aérea (hojas) de *V. unguiculata* obtuvo un incremento en la parcela con adición de nutrientes, sin embargo, en tallo la adición de nutrientes no reflejó cambio alguno.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. OBJETIVOS	4
4.1 OBJETIVO GENERAL	4
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
5. MARCO REFERENCIAL	5
5.1 ANTECEDENTES	5
5.2 MARCO TEORICO.....	8
5.2.1 Aspectos generales de <i>Vigna unguiculata</i>	8
5.2.1.1 Origen	8
5.2.1.2 Taxonomía	8
5.2.1.3 Requerimientos ambientales	8
5.2.2 <i>Vigna unguiculata</i> como cultivo de cobertura	11
6. HIPÓTESIS	13
7. DISEÑO METODOLÓGICO	14
7.1 ÁREA DE ESTUDIO	14
7.2 TIPO DE ESTUDIO	14
7.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	15
7.4 VARIABLES.....	16
7.5 TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO DE DATOS.....	16
7.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	17
7.6.1 Dinámica de la cobertura espacial.....	17
7.6.2 Biomasa Aérea	20
7.6.3 Análisis estadístico	21
7.7 MATERIALES PARA LA RECOLECTA DE INFORMACIÓN	23
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	24
8.1 COBERTURA ESPACIAL	24
8.2 BIOMASA ÁREA DE HOJA Y TALLO	27
9. CONCLUSIONES	29
10. RECOMENDACIONES	30
11. BIBLIOGRAFIA	31
ANEXO	39

Índice de cuadros.

CUADRO 1. VARIABLES ESTUDIADAS DEL EXPERIMENTO.....	16
CUADRO 2. VALORES DEL PROMEDIO Y ERROR ESTÁNDAR DE LA COBERTURA ESPACIAL (%) DE <i>V. UNGUICULATA</i>, PLANTAS ARVENSES Y SUELO DESNUDO PARA LOS DOS TRATAMIENTOS Y LAS REPETICIONES EVALUADAS.	24

Índice de figuras.

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
FIGURA 2. ESQUEMA DEL ARREGLO DE LAS PARCELAS EN EL ÁREA EXPERIMENTAL DONDE SE MUESTRA LOS TRATAMIENTOS CON FERTILIZACIÓN (A) Y SIN FERTILIZACIÓN (B). LAS REPETICIONES SOMBREADAS SON LAS MUESTRAS QUE SE SELECCIONARON PARA LA TOMA DE FOTOS DE COBERTURA ESPACIAL.	18
FIGURA 3. ESPECIFICACIONES DEL MONOPIÉ (A) PARA LA CÁMARA, FOTOGRAFIA DE LA COBERTURA ESPACIAL DE <i>VIGNA UNGUICULATA</i> (B).	18
FIGURA 4. A). IMAGEN DE COBERTURA ESPACIAL DE <i>V. UNGUICULATA</i> EN SAMPLEPOINT, B). SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE LA CUADRICULA GENERADA POR SAMPLEPOINT.....	19
FIGURA 5. RECOLECTA DE LA MUESTRA DE MATERIA VEGETAL EN CADA REPETICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA.	20
FIGURA 6. A) MUESTRAS DE HOJA Y TALLO DESPUÉS DE LA ESTERILIZACIÓN EN EL LABORATORIO. B) MUESTRAS DE HOJA Y TALLO DESPUÉS DE SECADO EN HORNO.....	20
FIGURA 7. SECADO EN HORNO INDUSTRIAL DE LAS MUESTRAS DE HOJA Y TALLO.	21
FIGURA 8. DESARROLLO DE <i>VIGNA UNGUICULATA</i> A LOS 3 (A), 10 (B), 20 (C), 30 (D), 40 (E) Y 50 (F) DÍAS DE EXPERIMENTO EN TRATAMIENTO CON ADICIÓN DE NUTRIENTES INICIADO EL 22 DE ABRIL DE 2017.	25
FIGURA 9. MODELO DE REGRESION DEL PROCESO GAUSSIANO DONDE SE MUESTRA LA DINÁMICA DE LA COBERTURA DE <i>VIGNA UNGUICULATA</i> EN LOS 50 DÍAS EXPERIMENTALES (A) Y LA SIMULACIÓN A LOS 60 DIAS (B).	26
FIGURA 10. A) BIOMASA SECA DE HOJAS ENTRE LOS DOS TRATAMIENTOS DONDE SE PRESENTAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS. B) BIOMASA SECA DE TALLOS ENTRE TRATAMIENTOS DONDE NO SE PRESENTAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.	27

1. INTRODUCCIÓN

Vigna unguiculata es una leguminosa de grano, cultivada en muchas partes del mundo (Ehlers & Hall 1997, Kimiti & Odee 2010, De Freitas *et al.* 2012), con el área de producción principal en África Occidental (Hamdy, 1989). Es un cultivo indispensable en sistemas agrícolas tradicionales y de alto rendimiento debido a su capacidad para fijar Nitrógeno y reducir su dependencia de los costosos fertilizantes producidos comercialmente (Odion *et al.*, 2007).

Vigna unguiculata fue introducido a Nicaragua en 1952 procedente del Centro Nacional de Agricultura de El Salvador, se hizo con el propósito de usarlo para forraje animal y abono verde en el mejoramiento de los suelos agrícolas del país. En Nicaragua se encuentran ocho géneros de *Vigna sp.*, de las cuales tres son cultivadas: *Vigna sinensis*, *Vigna radiata* y *Vigna unguiculata* (Tapia & Herrera, 1983).

Por sus bondades, *V. unguiculata* se ha vuelto importante en el sistema de agricultura integrada, permitiendo la rotación de cultivos con leguminosas para suministrar nitrógeno a través de la fijación biológica de nitrógeno. Sin embargo, las leguminosas pueden verse limitadas o potenciadas por la disponibilidad y utilización de fósforo (Vance *et al.* 2003; Waluyo *et al.*, 2004). Por ejemplo, se ha demostrado que la deficiencia de fósforo reduce el número y la biomasa de los nódulos, así como la actividad de la nitrogenasa en las leguminosas (Valdez *et al.* 1996; Qiao *et al.* 2007), que es esencial para la fijación de nitrógeno.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha visto un renovado interés en incorporar cultivos de cobertura a los sistemas de producción agrícola. Unger *et al.* (2006) definieron los cultivos de cobertura como "cultivos de crecimiento cercano como hierbas, leguminosas o granos pequeños que se utilizan principalmente para proporcionar protección estacional contra la erosión del suelo y para la mejora del suelo". Algunas de las razones dadas para el uso de cultivos de cobertura incluyen beneficios asociados con el aumento de la materia orgánica, mejoramiento de la estructura del suelo, infiltración, reducción de la evaporación de la humedad del suelo, protección contra la erosión del suelo, fijación de nitrógeno, aumento de la actividad biológica del suelo, aumento de la disponibilidad de nutrientes, reducción de la pérdida de nutrientes, reducción del exceso de agua en el suelo y eliminación de malezas (Snapp *et al.*, 2005).

Según Tinoco & Aráuz (2013), como resultado del mal manejo de los recursos naturales, actualmente el suelo ha llegado a ser intensamente degradado, esto ha llevado a implementar medidas amigables con el medio ambiente.

Actualmente las investigaciones referentes a la dinámica espacio- temporal de especies de cobertura y la acumulación de biomasa aérea en plantas sometidas a diferente disponibilidad de nutrientes son escasas. Los avances recientes en el Sistema de Información Geográfica y el análisis de imágenes en software y tecnología ofrecen la posibilidad de utilizar imágenes digitales del hábitat para cuantificar objetivamente la cobertura del suelo.

3. JUSTIFICACIÓN

La cobertura vegetativa es esencial en la Agricultura de Conservación: para la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto nivel de humedad posible y, por ende, reciclar los nutrientes y usar sus efectos alelopáticos sobre las malezas, conduciendo así a la reducción del uso de agroquímicos y de esta manera disminuir los costos de producción FAO (2015).

Las plantas de cobertura son ecológica y económicamente plantas importantes. Son reconocidas por su habilidad de fijar nitrógeno y liberarlo por medio de sus raíces o como parte de su proceso de descomposición. Los nódulos de las raíces son las fábricas que contienen bacterias fijadoras (género *Rhizobium*) de nitrógeno y forman relaciones simbióticas (Olmstead, 2012). Por otro lado, disminuyen el impacto de la lluvia, aportan materia orgánica evitando la erosión hídrica y eólica siendo estos los factores principales que afectan los suelos en la región pacífico de Nicaragua (Murcia & Valle, 2011).

El nitrógeno y fósforo son los macronutrientes absorbidos en mayores cantidades en cultivos asociados (Morris & Garrity, 1993), por lo que el requerimiento es mayor en comparación con el monocultivo. El adecuado nivel y disponibilidad de estos nutrimentos eleva la eficiencia en el uso del agua, consecuencia del aumento en el tamaño del dosel vegetal, el cual provoca mayor y más temprana cobertura del suelo, reducción de la evaporación y mayor relación de carbono fijado por unidad de agua disponible (Caviglia *et al.*, 2004).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la dinámica espacio-temporal de la cobertura y acumulación de biomasa aérea de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. bajo dos condiciones de disponibilidad de nutrientes.

4.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la dinámica espacio-temporal de la cobertura de *Vigna unguiculata* sometida a dos niveles de adición de nutrientes.

- ✓ Evaluar la acumulación de biomasa aérea de *Vigna unguiculata* bajo dos niveles de fertilización.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES

Las investigaciones con *V. unguiculata* de mayor importancia ecológica son relativamente recientes, principalmente para indagar sobre su adaptación bajo condiciones controladas y buscando el óptimo de producción para su consumo. Así, Angeli *et al*, (2016), en Grecia, estudiaron el efecto de diferentes tipos de fertilización (inorgánica, compost y control) en *Vigna unguiculata*, subs. *sesquipedalis*, encontrando que las características morfológicas de *V. unguiculata* se vieron potenciadas por la fertilización inorgánica. Aunque, esto autores no confirmaron diferencias significativas entre la altura de la planta y el tipo de fertilización, si encontraron diferencias entre la longitud de las vainas y el tipo de fertilización (orgánico = 34 cm, compost = 37.5 cm). Además, la densidad de la raíz y el número de nódulos radiculares fueron significativamente mayores en las parcelas con fertilizante orgánico.

Por otro lado, Ahamefule & Peter, (2014) estudiaron la respuesta de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) al fertilizante de fosfórico bajo dos tratamientos de labranza y cobertura con mantillo en el sudeste de Nigeria. Las parcelas labradas produjeron plantas con índices de área foliar significativamente mayores (2.82-4.05) que las parcelas sin labrar (2.11-3.22), mientras que las diferencias significativas en la acumulación de materia seca ocurrieron cuando a las parcelas se les aplicó mantillo. La respuesta en el rendimiento a los niveles de fósforo en cada combinación de labranza y mantillo fue significativa. Similarmente, la respuesta de la materia seca al nivel de fósforo indicó una acumulación máxima aparente (en la floración).

A su vez, Murcia & Valle (2011) evaluaron el comportamiento agronómico de cuatro variedades forrajeras de *Vigna* sp. Las variables de estudio para cada tratamiento fueron, porcentajes de germinación, altura de plantas, número de hojas (conteo visual) y porcentaje de cobertura. Los resultados indican diferencias significativas para todas las variables. Los porcentajes de germinación fueron 78% a 60% para las

variedades evaluadas. Las alturas oscilan entre 33.32 cm a 17.32 cm. En el porcentaje de cobertura los valores estaban entre 42.17% 18.48%. Se determinó que *Vigna unguiculata* en su variedad VUN Na detiene su crecimiento en la sexta semana de desarrollo.

Asi mismo, Ávila (2006) evaluó la producción forrajera y rendimiento de grano en cinco cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. y su efecto en aspectos productivos en cabras criollas. Las variables fenológicas mostraron diferencias significativas entre cultivares, clasificando la emergencia como: precoz, intermedia y tardía. En la producción de biomasa (verde y seca) por planta se presentaron diferencias estadísticas significativas. La altura de cada individuo, índice de área foliar y número de hojas por planta también presentaron diferencias significativas entre cultivares.

De igual manera, en León, Nicaragua, se estudió el efecto de leguminosas sobre el suelo en la Finca La Majada (Romero, 2003). Se evaluó el efecto de *Vigna radiata* y *Vigna unguiculata*, sometidas a dos densidades de siembra para determinar el efecto sobre el contenido de nutrientes y propiedades del suelo (nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y conductividad eléctrica) a través de comparaciones de las condiciones antes y después de la incorporación de las leguminosas. Adicionalmente, se determinó la biomasa de las plantas y formación de nódulos en sus raíces. Las densidades de siembra fueron: 30 y 50 cm entre surco y 3 y 5 cm entre individuo para *V. radiata*, y 5 y 10 cm para *V. unguiculata*. Los resultados demostraron el incremento de nutrientes, principalmente en fósforo, materia orgánica y nitrógeno. Sin embargo, se encontró disminución en potasio y conductividad eléctrica. El aporte de biomasa seca, fresca y producción de nódulos fue mayor en *V. unguiculata* demostrando que fue la especie que mayores beneficios provee al suelo como abono verde.

Para finalizar, en Cuba se evaluó la tolerancia al estrés de fósforo de *V. unguiculata* (Gómez *et al.*, 2002). Ocho genotipos de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp de amplio uso agrícola en Cuba fueron cultivados en solución nutritiva con cantidades

de fósforo que variaron entre 50 y 500 μM por planta/ semana y dependieron, únicamente, de un modo de nutrición de nitrógeno, fijación simbiótica del nitrógeno en el suministro de 4 μM de nitratos por planta/semana. Los resultados mostraron que el crecimiento foliar en las plantas de *V. unguiculata* fue severamente afectado por la deficiencia de fósforo tanto para las plantas que fijaron nitrógeno como para las que dependieron del nitrato, mientras que el crecimiento radical fue incrementado. Para las plantas inoculadas con *Rhizobium*, la nodulación fue también afectada por el estrés de fósforo, aumentando la actividad nodular específica. El crecimiento foliar de las plantas inoculadas fue mayor que el de las que se alimentaron con nitrato, debido a la mayor eficiencia en el uso del fósforo y reveló el alto potencial de la especie para fijar nitrógeno.

5.2 MARCO TEORICO

5.2.1 Aspectos generales de *Vigna unguiculata*

5.2.1.1 Origen

Vigna unguiculata es originaria de Africa, es una planta de clima tropical o subtropical, siendo Nigeria el mayor productor a nivel mundial. Se cultiva además en Asia y América, donde Brasil es el país de mayor superficie cultivada en su zona nordeste (FAO, 2002; Freire *et al*, 2000; citados por Vivas, 2014).

En su ciclo de vida presenta diferencias dependiendo de la variedad, oscilando entre 70 y 140 días hasta madurez según Peters *et al.*, (2010). Sin embargo, existen variedades con un periodo de hasta seis meses de vida. Son sensibles al fototropismo, principalmente florecen de Octubre a Noviembre (Murillo *et al*, 2003).

5.2.1.2 Taxonomía

Clasificación taxonómica

Reino: Vegetal

Clase: Angiospermae

Sub-clase: Dicotylenodae

Orden: Leguminosae

Familia: Fabaceae

Género: *Vigna*

Especie: *Vigna unguiculata* (L.)
Walp.

5.2.1.3 Requerimientos ambientales

- Suelos

Según Peters *et al.*, (2010) *V. unguiculata*, se adapta mejor en suelos bien drenados. Por su rápido desarrollo se ajusta a zonas con épocas vegetativas cortas y rango de pH de 4.0 a 8.0, sin embargo prefiere suelos un poco ácidos.

Crece desde el nivel del mar hasta 1600 m. Otros autores como Nielsen, (1996) afirman que el mejor crecimiento de la planta se presenta en suelos profundos, fértiles y sin problemas de salinidad con pH entre 5.5 y 6.5 como rango óptimo. Pandey, (1990) menciona que también se adapta a suelos arenosos, arcillosos y de baja infiltración.

PASOLAC, (2000) establece que en suelos arenosos, los nódulos de las plantas son más pequeños, prefiere suelos profundos, pero puede establecerse en suelos superficiales, aún cuando su desarrollo es más lento.

La planta de *V. unguiculata* tiene requisitos de fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre similares a otras leguminosas que deben cumplirse mediante adiciones de fertilizantes si el suelo es deficiente en estos elementos (Oplinger *et al.*, 1990).

- Clima

Vigna unguiculata es un cultivo de clima cálido, adaptado a zonas de los trópicos húmedos, también se puede desarrollar en zonas templadas. Es tolerante al calor y condiciones secas, sin embargo es sensible a las heladas; con temperaturas de 5 a 7 °C presenta problemas de germinación, siendo la temperatura óptima entre 18 y 20 °C (Davis *et al.*, 1991).

El clima también tendrá un efecto en el periodo de crecimiento: por lo tanto, cuanto más calor hace, más corto es el tiempo de maduración. (Van Rij, 1999).

- Demanda hídrica

Según Tropical Forages, (2008), *V. unguiculata* prospera en lugares con precipitación entre 650 a 2000 mm. Considerándose mas tolerante a la sequia que la soja (*Glycine max*) o el frijol mungo (*Vigna radiata*) debido a su tendencia a formar una raiz pivotante profunda.

Durante los periodos de sequía, el estrés hídrico afecta la morfología, la fisiología y la bioquímica de la planta, expresándose en la reducción del área foliar, la disminución de la difusión de dióxido de carbono al interior de la hoja y la reducción de la capacidad de los cloroplastos para fijarlo (Taiz & Zeiger, 2010).

La altura, el número de hojas y flores por planta disminuyen en la medida en que se agota el agua aprovechable del suelo. Además, con altos niveles de estrés hídrico se incrementa la senescencia y la abscisión de las hojas (Abayome & Abidoye, 2009; Ichi *et al.*, 2013); también se reduce el tamaño de las hojas y por consiguiente, el área foliar y peso seco de la parte aérea, incluyendo las vainas (Qasem & Biftu, 2010; Okon, 2013).

Este tipo de plantas no es muy exigente al agua, por lo que requiere riego ligero en donde la frecuencia y las proporciones dependen de la temperatura del ambiente, de la capacidad retentiva del suelo y del sistema de regadío. Durante todo el desarrollo se recomienda efectuarle de 3 a 5 riegos, concentrándose las mayores exigencias durante la siembra, la floración y el llenado de vainas (Oporta & Rivas, 2006).

- Brillo solar

Las plantas de *V. unguiculata* requieren luz solar completa o al menos de 8 a 10 horas al día (Oplinger *et al.*, 1990). Son tolerantes a la sombra, pueden adaptarse y desarrollarse bajo esta condición, pero no producirán valores de alto rendimiento de cosecha puesto que necesitan de la energía solar para completar la fotosíntesis, provocando una reducción en la fijación de nitrógeno al suelo (Calderón & Mendoza, 2004).

5.2.2 *Vigna unguiculata* como cultivo de cobertura

Pound, (2007) establece que "cultivos de cobertura" y "abono verde" se han usado en el pasado como sinónimos; sin embargo, los cultivos de cobertura están caracterizados por sus funciones más amplias y multi-propósitos, las cuales incluyen la supresión de malezas, conservación de suelo y agua, control de plagas y enfermedades, alimentación humana y para el ganado. Por otro lado, cualquier cultivo o forraje sembrado para proporcionar cobertura al suelo es un cultivo de cobertura. Entonces, esto define que un cultivo de cobertura puede ser más tarde incorporado como abono verde.

Los cultivos de cobertura se prestan para sistemas de bajos insumos externos y la adopción de los mismos es especialmente rápida donde varias limitantes pueden ser solucionadas a la vez por el cultivo de cobertura (por ejemplo, baja fertilidad del suelo, alta infestación de malezas y severa erosión del suelo). Los cultivos de cobertura constituyen una tecnología que es fácil de diseminar, necesitando únicamente un puñado de semillas y algún conocimiento para difundirlas de lugar a lugar (Anderson *et al.*, 1997).

La implementación de *V. unguiculata* como cultivo de cobertura puede ser beneficiosa tanto para el suelo como para la planta en asocio. La siembra del cultivo y del *V. unguiculata* puede ser simultánea o secuenciales, procurando la siembra entre 1-2 semanas después de establecido el cultivo principal. Lo anterior dependerá del cultivo con el que vayamos a asociarla.

La especie *V. unguiculata* se siembra en asocio con maíz o sorgo y como cobertura en cultivos perennes, antes que el cultivo principal domine el campo.

También se planta en rotación con cereales y otros cultivos porque complementa parte del requerimiento de nitrógeno mediante la fijación biológica de nitrógeno (Carsky *et al.*, 2002). El fósforo es esencial para el crecimiento, la formación de vainas y la fijación de nitrógeno en las leguminosas. Según Adu-Gyamfi *et al.*

(1989), *Vigna unguiculata* generalmente tiene un alto requerimiento de fósforo para un crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno adecuados.

- Usos y beneficios de *V. unguiculata* como cultivo de cobertura

PASOLAC, (2000) establece los principales beneficios al implementar *V. unguiculata* como cultivo de cobertura:

- Mejora de la fertilidad y estructura del suelo, en asociación con maíz se puede incorporar a los 50 días para aportar nitrógeno al cultivo. Sin embargo, la cantidad aportada es limitada por la poca cantidad de biomasa de la planta y el período corto de fijación. En caso de que se cosechen los granos, se exporta la mayor parte del nitrógeno fijado por la planta con los granos.
- Control de malezas: Contribuye al control de malezas por su rápido crecimiento inicial y su buena cobertura. No controla bien malezas agresivas.
- Disponibilidad y calidad de forraje: La cantidad y el valor de la biomasa para el ganado es bajo. Los granos tienen 23-25% de proteínas y complementan muy bien las cereales en la alimentación de aves y cerdos.
- Disponibilidad de alimento humano: Según INTA (s,f) puede lograrse hasta seis cosechas al año obteniéndose en promedio treinta quintales por manzana en cada una de las cosechas sin volverlo a sembrar, contrario a lo que ocurre con el frijol común que en zonas secas solo se cosecha una vez al año con rendimientos de ocho quintales por manzana.
- Relación con plagas: Puede ser afectado por el Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), la Maya (*Diabrotica balteata*), Lorito verde (*Empoasca kraemeri*), Taladrador de la vaina (*Maruca testulalis*), Chinche verde y Chinche helionda (*Nezara viridula*). También sirve como cultivo trampa para *Meloidogyne spp.* y *Bemisia tabaci* (mosca blanca) (Binder, 1997).

6. HIPÓTESIS

1:

Conforme aumenta la disponibilidad de nutrientes en sitios donde crecen las plantas de *Vigna unguiculata*, la dinámica de cobertura es mayor.

2:

Cuanto mayor es la disponibilidad de nutrientes en sitios donde crece *Vigna unguiculata*, mayor es la acumulación de biomasa aérea.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 Área de estudio

La evaluación de la cobertura de *V. unguiculata* se realizó en la UNAN-Managua en las coordenadas 12°10'63''N y 86°26'77''O (Figura 1). Según los resultados de las pruebas de análisis de suelo realizadas en el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria, el suelo del área de trabajo posee una textura Franco Arcilloso (37.6 % Arcilla, 28% Limo y 34.4% Arena) con pH 7.18 pH, 4.36% MO, 0.22% N, 5.69 ppm P disponible y 3.70 me/100g K. (véase Anexo 12.8).

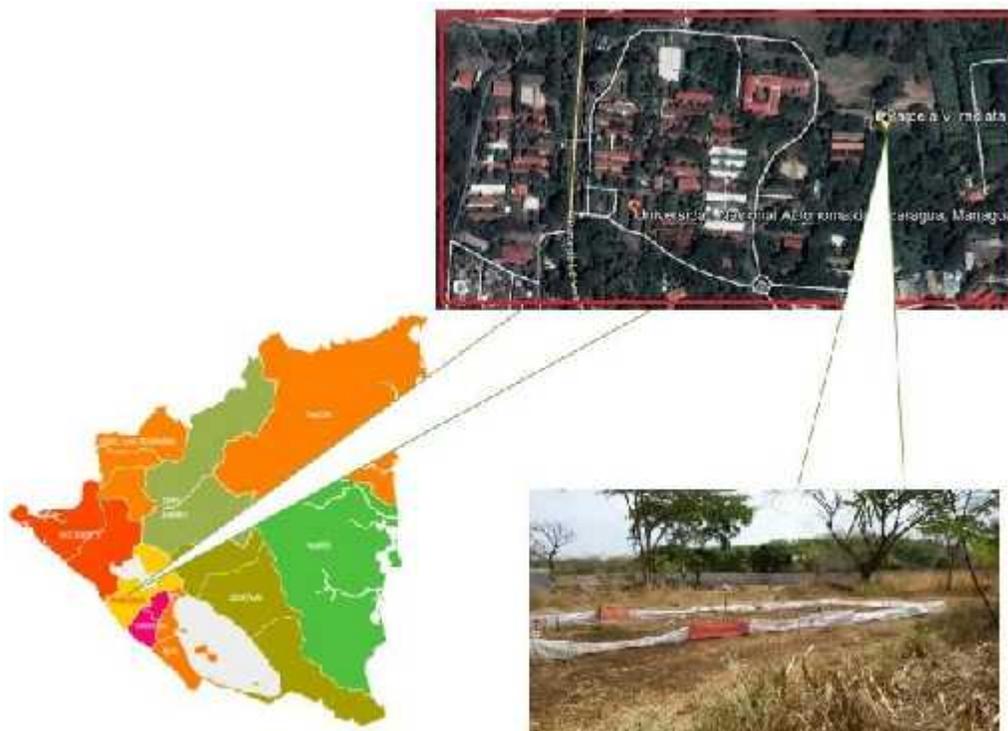


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

7.2 Tipo de estudio

La investigación es de tipo experimental ya que se estudia el efecto de la adición de nutrientes en *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sobre la dinámica espacio-temporal de la cobertura y la acumulación de biomasa aérea en condiciones controladas.

7.3 Población y muestra

7.3.1 Población

Se delimitó un área experimental de 30x12 m (360 m²), dividida en dos tratamientos, ocho con adición de nutrientes y ocho sin adición de nutrientes, para un total de 16 repeticiones debidamente señalizadas y arregladas en un Diseño Completamente al Azar. Las dimensiones de cada repetición fueron de 2x2 m², con una densidad de siembra de 1,280 semillas de *V. unguiculata*.

7.3.2 Muestra

Para la determinación de la cobertura espacio-temporal, el tamaño de la muestra corresponde a las fotografías tomadas diariamente en cuatro repeticiones de cada tratamiento, de lo cual se obtenían ocho fotografías cada día durante 50 días de fase de campo para un total de 400 imágenes, de las cuales se analizaron 376.

Para la evaluación de almacenamiento de biomasa aérea el tamaño de la muestra corresponde a la biomasa fresca de los individuos colectados en 1 m² procedente de las ocho repeticiones de cada tratamiento, con adición de nutrientes y sin adición de nutrientes, para un total de 16 muestras.

7.4 Variables

Cuadro 1. Variables estudiadas del experimento.

Objetivo general: Evaluar la dinámica de la cobertura espacial y acumulación de biomasa aérea de <i>Vigna radiata</i> L. R. Wilczek bajo dos condiciones de disponibilidad de nutrientes.			
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Cobertura espacial	Es el resultado de la asociación espacio temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales	Se tomaron fotos de cuatro repeticiones en los dos tratamientos a una altura de 1.22 m con un monopie de acero. Luego se realizaron los análisis de cada imagen en el programa SamplePoint	Se ocuparon cámara del celular Samsung S5, un pedestal, cintas de marcaje, programa SamplePoint y estacas de PVC
Biomasa seca de hojas (g MS/m ²)	Toda materia orgánica aérea y subterránea, viva y muerta.	Se cortó 1 m ² de materia verde (hoja y tallo) de <i>Vigna unguiculata</i> , se pesó y luego se secaron al ambiente en bolsas de papel. Posteriormente, las muestras fueron secadas en horno industrial a 65 °C por 48 horas e inmediatamente se registró el peso seco con una balanza de precisión de 0.1 gramos	Se ocuparon bolsas plásticas para el traslado de la materia verde, bolsas de papel, marcador permanente, pesa analítica, bandejas de aluminio, piseta y horno industrial para el secado
Biomasa seca de tallo (g MS/m ²)	Se refiere a la biomasa que ha sido secada en horno, generalmente a 65°C.		

7.5 Técnicas de levantamiento de datos

La semilla utilizada fue proporcionada por la Universidad Nacional Agraria, así mismo se hicieron pruebas de germinación determinando que la semilla tiene porcentaje de germinación del 92%. Para la siembra se ocupó la metodología del INTA (s.f) para la siembra de frijol rojo en las cuales se establecieron 4 surcos por repetición con distancia de 40 cm (entre ellos) y distancia de siembra de 20 cm entre cada semilla, con una densidad de siembra de 20 semillas por surco. El tiempo de evaluación es de 50 días, comprendido el 22 de abril al 11 de junio de 2017.

Para el control de plagas se ocuparon sacos de lona como barreras para detener el paso de roedores y reptiles que pudieran afectar el área de siembra, de igual manera antes del proceso de la siembra se aplicó Thimet 10GR para asegurar que el sustrato no tuviera patógenos que afectaran el proceso de desarrollo de *V. unguiculata*.

En un inicio, los tratamientos fueron irrigados con láminas de 8 mm y de 4 mm. con frecuencias de dos días, el riego fue suspendido iniciada la temporada de lluvia. El cálculo de la lámina de agua fue estimado a partir de los datos meteorológicos de la estación del Aeropuerto Internacional de Managua 69027 (latitud 12° 08' 36" y longitud 86° 09' 49") siguiendo la metodología descrita por FAO (2006). Se aplicó al tratamiento con fertilización 67.5 kg ha⁻¹ de nutrientes con la formula 10-50-10 (Nitrógeno-Fósforo-Potasio) en dos momentos, a los 27 y 35 días de experimento.

Transcurridos los 50 días, se procedió a seleccionar los puntos de cosecha en cada repetición obteniendo 1 m² de material verde (Figura 5). Los cortes se realizaron pasadas las 10:00 a.m. para que el rocío no tuviera efecto sobre el secado. Cada muestra se introdujo en bolsas selladas con su debida codificación para llevarlas al laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua inmediatamente después de la cosecha. Todo el material fue separado por fracciones de hojas y tallos para su secado

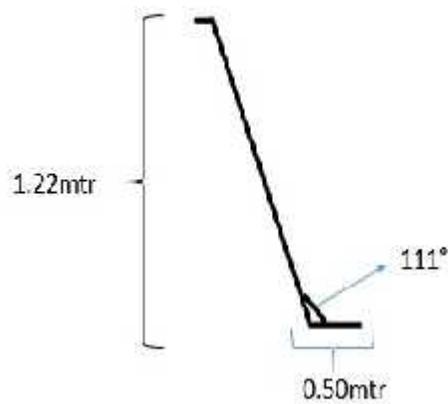
7.6 Técnicas de análisis de la información

7.6.1 Dinámica de la cobertura espacial

Fueron tomadas imágenes diariamente en cuatro repeticiones seleccionados a conveniencia de cada tratamiento, con adición de nutrientes y sin adición de nutrientes (Figura 2). La ubicación de la cámara fue en posición de Este a Oeste, siempre en el mismo punto y a la misma hora para cada repetición seleccionada (Figura 3).

A2	A4	A6	A8	B10	B12	B14	B16
A1	A3	A6	A7	B9	B11	B13	B15

Figura 2. Esquema del arreglo de las parcelas en el área experimental donde se muestra los tratamientos con fertilización (A) y sin fertilización (B). Las repeticiones sombreadas son las muestras que se seleccionaron para la toma de fotos de cobertura espacial.



a)



b)

Figura 3. Especificaciones del Monopié (a) para la cámara, Fotografía de la cobertura espacial de *Vigna unguiculata* (b).

El análisis de las imágenes se realizó en formato Joint Photographic Group (JPG) con el Programa SamplePoint (Booth & Berryman, 2006) (Figura 4). Se eliminaron los primeros 3 días de imágenes donde no hubo datos cuantificables, iniciando el análisis a partir de la germinación de las semillas para un total de 376 imágenes de cobertura.

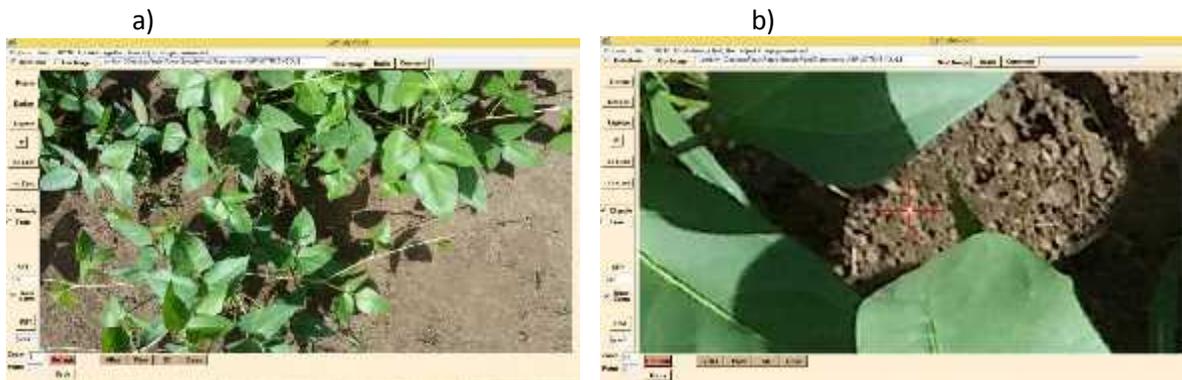


Figura 4. a). Imagen de cobertura espacial de *V. unguiculata* en SamplePoint, b). Selección de los puntos de la cuadrícula generada por SamplePoint.

En este caso los sujetos de prueba a evaluar con el programa de análisis de imágenes son *V. unguiculata*, plantas arvenses y suelo desnudo, tomando en cuenta los criterios de selección por tonalidad de color (RGB).

SamplePoint es un software gratuito para el análisis manual de imágenes. Su función principal es clasificación por puntos. Un usuario debe primero crear una base de datos de imágenes en funcionamiento seleccionando esas imágenes usando el Asistente de base de datos dentro del software. Este proceso crea un archivo de Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA) cuya hoja de cálculo contiene una columna que enumera una clave de identificación, una columna que enumera las imágenes a analizar y 225 columnas para el almacenamiento de datos (Booth & Berryman, 2006). El software permite hasta 30 especies o clases a ser definidas por el usuario. SamplePoint fue desarrollado por Berryman Consulting en cooperación con el USDA Agricultural Research Service y la USDI Bureau of Land Management en 2006.

7.6.2 Biomasa Aérea

Seguidamente, para el análisis de biomasa aérea se procedió a seleccionar de manera aleatoria los puntos de corte en cada repetición, colectando 1 m² de material verde de cada una de las 16 repeticiones. (Figura 5)



Figura 5. Recolecta de la muestra de materia vegetal en cada repetición para la determinación del contenido de materia seca.

Previo al secado, las muestras de hojas y tallo fueron esterilizadas con alcohol al 70% aplicado con una pisseta y el exceso fue retirado con papel toalla. El material fresco fue secado a temperatura ambiente durante 5 días antes del secado en horno (Figura 6).



Figura 6. a) Muestras de hoja y tallo después de la esterilización en el laboratorio. b) Muestras de hoja y tallo después de secado en horno.

Pasados los cinco días, el material se introdujo en bolsas de papel con dimensiones de 40 cm x 20 cm x 10 cm ubicándolas dentro del horno del Laboratorio de Biotecnología estabilizado en 65 ± 5 °C por 48 horas (Figura 7).



Figura 7. Secado en horno industrial de las muestras de hoja y tallo.

7.6.3 Análisis estadístico

Para conocer el efecto de la adición de nutrientes en la cobertura de *V. unguiculata*, la cobertura de plantas arvenses y el suelo desnudo, se utilizó un modelo lineal mixto generalizado con una función de error binomial ajustado por la aproximación Laplace. En cada caso, el modelo consideró medidas repetidas en el tiempo. La adición de nutrientes se consideró como factor de efecto fijo y el tiempo y las parcelas como factores de efectos aleatorios. Debido a la existencia de sobre-dispersión en el modelo se generó una variable sintética que captura dicha sobre dispersión. Esta variable sintética fue modelada como factor de efecto aleatorio.

Para determinar la dinámica de la cobertura espacial de *V. unguiculata* se utilizó un Modelo de Regresión de Proceso Gaussiano usando una función de Covarianza exponencial cuadrática.

El Modelo de Regresión del Proceso Gaussiano es un modelo no-paramétrico de muy buenas características. Donde la forma discreta del Modelo de Regresión del Proceso Gaussiano es la siguiente:

$$y_i = f(x_i) + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\epsilon_i \sim i.i.d. N(0, \sigma^2),$$

$$f(\cdot) \sim G(\mu(\cdot), k(\cdot, \cdot)) \text{ y } \text{Cov}(f(x_i), f(x_j)) = k(x_i, x_j)$$

Donde $G(\mu(\cdot), k(\cdot, \cdot))$ es un Proceso Gaussiano a priori con una media $\mu(\cdot)$ y una función de covarianza $k(\cdot, \cdot)$. La siguiente es una de las funciones de covarianza más usadas en práctica y la que se utilizó en este trabajo:

$$k(x_i, x_j, \theta) = v_1 \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q w_q (x_{i,q} - x_{j,q})^2\right) + \sum_{q=1}^Q \alpha_q x_{i,q} x_{j,q}$$

Donde demuestra la combinación de los exponenciales al cuadrado y la covarianza lineal de Kernel.

Para conocer el efecto de la adición de nutrientes en la acumulación de biomasa en tallos y en la acumulación de biomasa de hojas de *V. unguiculata* se utilizó un modelo lineal. En ambos casos, se realizó análisis de residuales por medio de inspección visual de gráficos para detectar violación a los supuestos de homocedasticidad y normalidad. Para remediar la violación al supuesto de homocedasticidad y obtener estimadores consistentes en el modelo de la variable biomasa de tallos, se ajustó un modelo lineal por mínimos cuadrados generalizados usando una función para estabilizar la varianza. Por otra parte, para remediar la violación al supuesto de normalidad en el modelo de la variable biomasa de hojas, se ajustó un modelo lineal robusto con un estimador “biweight MM”. Todos los análisis fueron realizados con el software estadístico R (R Core Team, 2017)

7.7 Materiales para la recolecta de información

Tubo PVC: para delimitación de la parcela experimental.

Separadores: para delimitar los tratamientos experimentales.

Sacos: sirvió de barrera para evitar el acceso a reptiles y roedores que pudiesen afectar las plántulas dentro de la parcela experimental.

Cámara de Samsung Galaxy S5: Para la toma de fotos y detección de cobertura espacial de *V. unguiculata*.

Monopié: sostén de la cámara, el cual tenía dimensiones específicas para la correcta toma de foto de la sub-parcela a muestrear.

Bolsas de papel: para almacenar las muestras para el análisis de biomasa aérea, así mismo como recipiente para el secado de las muestras de biomasa aérea.

Bolsas plásticas: para hacer la debida separación de muestras de biomasa aérea entre repeticiones y tratamientos.

Horno industrial: para el secado de las muestras de biomasa.

Piseta: para la esterilización con alcohol al 70% de las muestras de biomasa.

Balanza de precisión: para el pesado en húmedo y seco de las muestras de biomasa.

Libreta: anotación de datos durante la fase de campo y la fase de laboratorio.

Computadora portatil: se ocupó para digitar datos de Biomasa y cobertura.

Tijeras para podar: se ocupó para el corte de hojas y tallos.

Fertilizante: para la adición de nutrientes se ocupó fertilizante 10-50-10 (Nitrogeno-Fósforo-Potasio).

Sistema de riego por aspersion: se implementó en el experimento para administración de lámina de agua en las plantas.

Azadón: se ocupó para remover tierra y para la elaboración de los surcos

Alcohol al 70%: para la limpieza y descontaminación del material verde

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1 Cobertura espacial

Los valores promedios demuestran que hay alta variabilidad entre los tratamientos y entre los sujetos de prueba (*Vigna unguiculata*, plantas arvenses y suelo desnudo) (Cuadro 2). El comportamiento de las plantas de cobertura en zonas tropicales es muy variable debido a los diferentes cambios de condiciones ambientales y disponibilidad de nutrientes en el sustrato.

Cuadro 2. Valores del promedio y error estándar de la cobertura espacial (%) de *V. unguiculata*, plantas arvenses y suelo desnudo para los dos tratamientos y las repeticiones evaluadas.

Tratamiento	Repeticón	<i>Vigna unguiculata</i>	Plantas arvenses	Suelo desnudo
Con nutrientes	3	0.342 ± 0.046	0.067 ± 0.008	0.588 ± 0.588
	4	0.035 ± 0.013	0.124 ± 0.022	0.842 ± 0.842
	5	0.169 ± 0.026	0.084 ± 0.010	0.746 ± 0.746
	6	0.053 ± 0.013	0.105 ± 0.018	0.841 ± 0.841
Sin nutrientes	11	0.245 ± 0.045	0.032 ± 0.005	0.713 ± 0.713
	12	0.160 ± 0.031	0.115 ± 0.018	0.722 ± 0.722
	13	0.220 ± 0.032	0.067 ± 0.013	0.701 ± 0.701
	14	0.324 ± 0.046	0.095 ± 0.013	0.576 ± 0.576

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de la cobertura de *V. unguiculata* está poco estudiada y se asocia para control de malezas o como abono verde implementada en etapas de barbecho. Según Bolaños (1997) el comportamiento de la cobertura de *V. unguiculata* es dominante en control de malezas en los primeros 100 días de siembra, presentando bajas en el control después de ese periodo. La constante competencia por nutrientes, luz y agua hace evidenciar que la variabilidad en la cobertura es cambiante, tomando en cuenta los eventos de lluvia ocurridos durante el tiempo evaluado este hecho estimula el comportamiento oscilante entre los sujetos de prueba.



Figura 8. Desarrollo de *Vigna unguiculata* a los 3 (a), 10 (b), 20 (c), 30 (d), 40 (e) y 50 (f) días de experimento en tratamiento con adición de nutrientes iniciado el 22 de abril de 2017.

El modelo lineal mixto generalizado (GLMM) demostró que no hay efecto de la adición de nutrientes sobre el porcentaje de cobertura de *Vigna unguiculata* ($p=0.141$), plantas arvenses ($p=0.603$) y suelo desnudo ($p=0.125$).

Dado que el periodo del experimento se llevo a cabo en una epoca transicional en época seca se procedió a regular la precipitación y posteriormente se adicionó nutrientes a uno de los tratamiento, dejando como factor limitante la cantidad de nutrientes en el sustrato, pero a medida de que la precipitación no se controla por factores ambientales (inicio del invierno), el factor limitante impuesto en el

experimento (adición de nutrientes) pasó a segundo plano y siendo la precipitación el factor que marca los límites de crecimiento de las plantas .

Por otra parte, Arévalo (2003) demuestra que la cobertura espacial de *V. unguiculata* no es afectada por la adición de nutrientes, la aplicación de Fosforo (P_2O_5) estimula el crecimiento precoz de las leguminosas teniendo un efecto en el tiempo de crecimiento, en términos de cobertura horizontal adicionar nutrientes no tiene un efecto significativo. y eso se demuestra con los datos del experimento que a pesar de que uno de los tratamientos tiene mayor disponibilidad de nutrientes, la cobertura de la planta no se ve afectada.

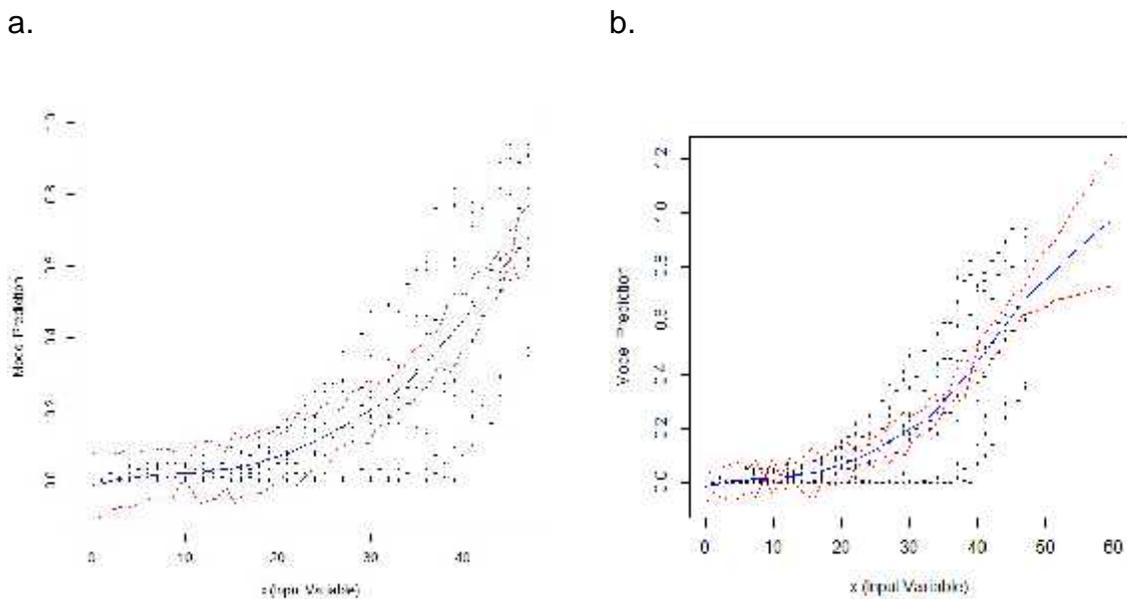


Figura 9. Modelo de Regresión del Proceso Gaussiano donde se muestra la dinámica de la cobertura de *Vigna unguiculata* en los 50 días experimentales (a) y la simulación a los 60 días (b).

El modelo de regresión de Proceso Gaussiano muestra el comportamiento de la dinámica de la cobertura espacial de *V. unguiculata* con datos de 50 días de crecimiento (Figura 9). La línea de color azul en la figura es la función de todos los valores predichos de los dos tratamientos del modelo tomados a la misma vez, los puntos oscuros son todos los valores originales de los dos tratamientos. Las líneas de

color rojo son los intervalos de confianza. Se aprecia que el modelo captura muy bien la variabilidad de los datos. Se realizaron simulaciones a partir de los valores predichos para conocer el comportamiento de la dinámica en el tiempo. Los tiempos evaluados fueron a los 60, 70, 80 y 90 días. Los resultados muestran que la cobertura empieza a presentar una inflexión entre los 60 días, aproximándose la cobertura total máxima alcanzable.

8.2 Biomasa Aérea de hoja y tallo

La biomasa de hojas presenta que hay efecto positivo en la adición de nutrientes sobre la producción de biomasa ($p= 0.0151$) mientras que en la biomasa en tallos muestra que no hay un efecto en la adición de nutrientes sobre la producción de biomasa aérea ($p= 0.702$) (Figura 10).

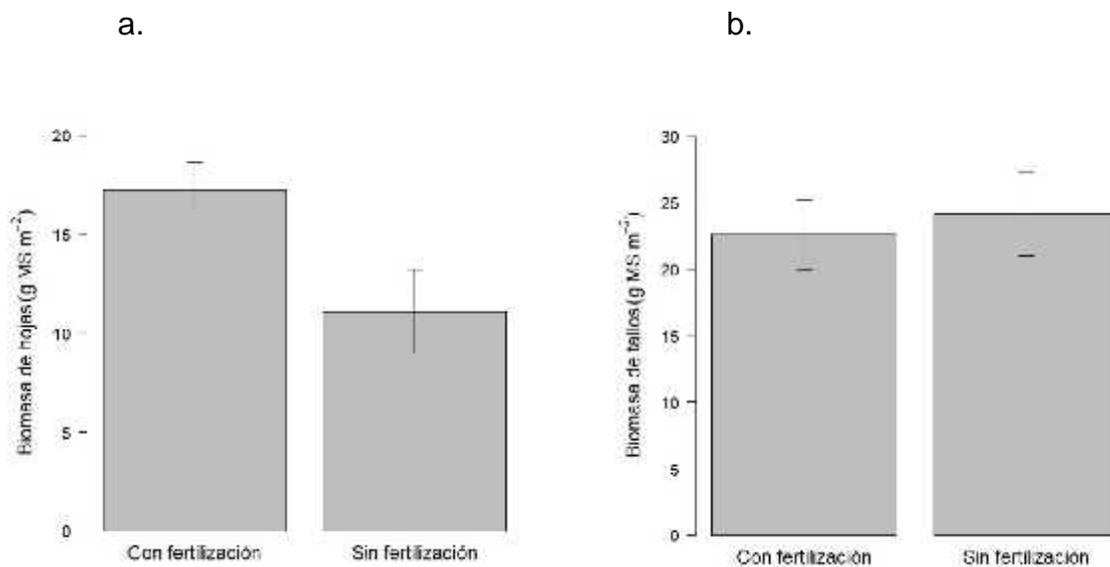


Figura 10. a) Biomasa seca de hojas entre los dos tratamientos donde se presentan diferencias significativas. b) Biomasa seca de tallos entre tratamientos donde no se presentan diferencias significativas.

La producción de materia seca está directamente relacionada con los contenidos de nitrógeno y fósforo disponible (Abaidoo *et al.*, 2016). Diversos estudios han demostrado de manera consistente la relación entre el uso eficiente de fósforo (PUE, siglas en inglés) y producción de biomasa (Pan *et al.*, 2008; Rose & Wissuwa, 2012). Sin embargo, en leguminosas, existe una tendencia a relacionar la eficiencia de fósforo con fijación biológica de nitrógeno porque el fósforo es uno de los componentes de la adenosina trifosfato (ATP) que proporciona energía y activa la nitrogenasa en la fijación atmosférica del nitrógeno. Así, se ha encontrado que el peso seco de los nódulos y la cantidad de nitrógeno fijado en leguminosas se mejoran con la aplicación fósforo (Gunawardena *et al.*, 1992). Lo anterior sugiere que un mayor requisito de fósforo es para la fijación de nitrógeno en lugar de una inversión para el crecimiento. En nuestro estudio se encontró que dada la aplicación de una fórmula completa de nutrientes (Nitrógeno-Fósforo-Potasio), la cantidad de nitrógeno pudo haber estimulado la mayor producción de biomasa de hojas. La similitud en la biomasa de tallos entre ambos tratamientos puede ser debida a la partición de fotoasimilatos, lo cual puede ser visto como parte del programa morfogénico de la planta donde existe una jerarquía de priorización de asignación de carbono entre los diferentes órganos iniciando por las hojas, tallos, nuevos apéndices y raíces (Gastal & Durand, 2000).

9. CONCLUSIONES

La cobertura de *V. unguiculata* fue similar en las dos condiciones de disponibilidad de nutrientes. No obstante la dinámica espacio temporal de la cobertura fue alta durante el periodo de crecimiento evaluado.

La biomasa de hojas de *V. unguiculata* fue incrementada en el tratamiento con alto contenido de nutrientes, efecto que no es notable en los tallos.

10. RECOMENDACIONES

- A los docentes del Departamento y estudiantes de Biología se les alienta realizar estudios con especies de cobertura de suelo evaluando la relación de producción de biomasa con la absorción de nutrientes.
- Evaluar los efectos que tienen el fósforo en diferentes tiempos de cobertura para conocer si existe algún efecto del crecimiento a largo plazo.
- De igual manera realizar estudios de aplicación de nutrientes (nitrógeno, fósforo o potasio) incorporándolos en distintas fechas para evaluar la interacción y adaptación de la planta según el tipo de nutriente.
- Impulsar el estudio de cobertura vegetal medido a través de imágenes espaciales en otras especies o variedades de cobertura y hacer análisis comparativos para determinar la variabilidad espacio temporal.

11. BIBLIOGRAFIA

- Abayome, YA; Abidoje, TO. (2009).** Evaluation of cowpea genotypes for soil moisture stress tolerance under screen house conditions. *African Journal of Plant Science* 3 (10): 229-237.
- Abaidoo, R., Dare, M., Killani, S., & Opoku, A. (2017)** Evaluation of early maturing cowpea (*Vigna unguiculata*) germplasm for variation in phosphorus use efficiency and biological nitrogen fixation potential with indigenous rhizobial populations. *Crops and Soils Research Paper. Journal of Agriculture Science.*
- Adu-Gyamfi, 1.1., Fujita, K., and Ogata, S. (1989)** Phosphorus absorption and utilization efficiency of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) in relation to dry matter production, and dinitrogen fixation. *Plant Soil*, 119, 3 | 5-324.
- Ahamefule, H. & Peter, P. (2014).** Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) response to phosphorus fertilizer under two tillage and mulch treatments. *Soil and Tillage Research*. 136. 70–75. 10.1016/j.still.2013.09.012.
- Anderson, S. Ferraes, N. Gundel, S. Keane, B. & Pound, B (Eds.) (1997)** "Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados". Taller Regional Latino-americano. 3-6 de febrero 1997. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apartado 116-4, Mérida 97100, Yucatán, México.
- Angeli, C., Cheimona, N., Kakabouki, I., Kontopoulou. C., Tabaxi, I., Papandreou, A., Pachi, B., Drossinou, I., Papastylianou, P., & Bilais, D. (2016)** Effect of Different Types of Fertilization on *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*. *Horticulture and forestry - short communications. BulletinUASVM Horticulture* 73(2) / 2016.

Arévalo, L. A., Alegre, J. C., & Fasabi, R. (2003) Efecto del fósforo sobre el establecimiento del centrosema macrocarpum benth dentro de una plantación de Pijuayo (*bactris gasipaes* h.b.k.) en un ultisol del trópico húmedo. Ecol. apl. v.2 n.1 Lima. Pag. 96.

Ávila, N. (2006) Evaluación de producción forrajera y rendimiento de grano en cultivares de frijol yorimón (*Vigna unguiculata* L. Walp y su efecto en aspectos productivos de cabras criollas. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias, Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Binder, U. (1997). Manual de leguminosas en Nicaragua. Tomo I Y II. Primera Edición. PASOLAC, E.A.G.E. Esteli, Nicaragua. 528p.

Bolaños, R. (1997). Tesis de grado. Estudio de siete leguminosas de cobertura en asocio con el cultivo de Pithaya (*Hylocereus undatus*, Briton & Rose), como manejo de las malezas y aportes de nutrientes. Facultad de Agronomía. Escuela de producción animal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Booth DT, SE Cox & RD Berryman (2006). [Point sampling digital imagery with 'SamplePoint'](#). Environmental Monitoring and Assessment 123:97-108.

Calderón, O. & Mendoza, C. (2004). Evaluación del efecto de la incorporación de frijol mungo (*Vigna radiata* L) en la fertilidad del suelo y el comportamiento del cultivo del maíz (*Zea mays* L). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. León, Nicaragua. Recuperado en 27 de noviembre de 2017 de, <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/936/1/199709.Pdf>

Carsky, R. J., Vanlauwe, B. & Lyasse, O. (2002). Cowpea rotation as a resource management technology for cerealbased systems in the savannas of West Africa. In Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production (Eds C. A. Fatokun, S. A. Tarawali, B. B. Singh, P. M. Kormawa & M. Tamò), pp. 252–266. Ibadan, Nigeria: IITA

Caviglia, O. P., Sadras, V. O., & Andrade F. H. (2004). Intensification of agricultura in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of wáter and radiation in doublé-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.*

Davis, D.W., Oelke, E.A., Oplinger, E.A., Doll, J.D., Hanson, C.V., & Putman, D.H., (1991). Cowpea. *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin, Cooperative Extension, University of Minnesota: Center for Alternative Plant and Animal Products and the Minnesota Extension Service. 11 p

De Freitas, A., Silva, A., & Sampaio, E. (2012). Yield and biological nitrogen fixation of cowpea varieties in the semi-arid region of Brazil. *Biomass and Bienergy* 45, 109-114.

Ehlers, J., & Hall, A. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Field Crops Research* 53, 187-204.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2015). Agricultura de conservación. La importancia de cultivos de cobertura en la agricultura de conservación. Recuperado en 27 de Noviembre de 2017, de www.fao.org/aq/Ca/es/2a.html

Food and Agriculture Organization (FAO). (2006). Evapotranspiracion del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Organización de las naciones unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, 298 p.

Gastal, F. & Durand, J.L. (2000) Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. Grassland ecophysiology and grazing ecology / edited by G. Lemaire et al., p. cm. Curitiba, Parana, Brazil, Aug. 24-26, 1999.

Gómez, L., Vadez, V., Hernández, G., Sánchez, T., Toscano, V., & Sánchez, M. (2002) Evaluación de la tolerancia al estrés de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba. I. cultivo en solución nutritiva. Agronomía mesoamericana 13(1): 59-65. 2002.

Gunawardena, S., Danso, S., Zapata, F. (1992) Phosphorus requirements and nitrogen accumulation by three mungbean (*Vigna radiata* (L) Welzek) cultivars. Faculty of Agriculture, University of Ruhuna, Mapalama, Sri Lanka, FAO/AEA Division, Wagramerstrasse, A-1400 Vienna, Austria and IAEA's Laboratory in Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf, Austria. Plant and Soil 147: 267-274.

Hamdy, M. (1989). Cowpea Processing Project 685-0281. Dakar, Senegal: USAID.

Ichi, JO; Igbadun, HE; Miko, S; Samndi, AM. (2013). Growth and Yield Response of Selected Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) Variety to Irrigation Interval and sowing Date. The Pacific Journal of Science and Technology 14 (1): 453-463.

Kimiti, J., & Odde, D. (2010). Integrated soil fertility management enhances population and effectiveness of indigenous cowpea rhizobia in semi-arid Eastern Kenya. Applied Soil Ecology 45, 304-309.

- Morris, R., & Garrity, D., (1993)** Resource capture and utilization in intercropping; non nitrogen nutrients. Recuperado en 27 de Noviembre de 2017, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037842909390120C>
- Murcia, M. & Valle, F. (2011)** Comportamiento agronómico de variedades forrajeras *Vignas spp.* Finca Santa Rosa, Managua, Nicaragua. Nicaragua. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Murillo, B., Larrinaga, J., Nieto, A (2003).** Manual parra la producción de frijol yorimón en el Valle del Carrizal, B.C.S. programa de Agricultura en Zonas Áridas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S.
- Nielsen, S.A. (1996).** Species hybridization in the genus *Vigna*. In Proceedings of IITA Collaborators meeting on grain Legume Improvement. Ed. R.A. Luse and Rachie, International Institute of tropical agriculture. Ibanda, Nigeria. pp: 11 – 13.
- Odion, E. C., Asiribo, O. E., Ogunlela, V. B., Singh, B.B. & Tarawali, S. A. (2007).** Strategies to improve and sustain food production capacity in the savanna: the role of leguminous fodder crops in maintaining soil fertility and health. *Journal of Food, Agriculture and Environment*5, 338–344
- Okon, IE. (2013).** Effect of Water Stress on Some Growth Aspect of Two Varieties of Cowpea, *Vigna unguiculata* L. Walp. Fabaceae. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2(5): 69-74.
- Olmstead, M. (2012).** Cultivos de cobertura para zonas áridas. Recuperado de: <http://articles.extension.org/pages/31156/cultivos-de-cobertura-para-zonas-ridas-cover-crops-for-arid-areas>

- Oplinger, E. S., Hardman, L. L., Kaminski, A. R., Combs, S. M., & Doll, J. D. (1990).** Mungbean. Recuperado de <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/mungbean.html>
- Oporta, E.S., & Rivas, A.M. (2006).** Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupí rojo [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en la finca el plantel. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. Pag. 40.
- Pan, X. W., Li, W. B., Zhang, Q. Y., Li, Y.H. & Liu, M.S. (2008).** Assessment on phosphorus efficiency characteristics of soybean genotypes in phosphorus-deficient soils. *Agricultural Sciences in China* 7, 958–969.
- Pandey, R. K. (1990).** Guía del Agricultor para el Cultivo del Chicharo de Vaca en Arrozales. Primera edición. Editorial LIMUSA, S. A. México. 218 p
- PASOLAC (2000).** Guía técnica de conservación de suelos y agua. San Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1033>
- Peters, M., Franco, L. H., Schmitd, A., & Hincapié, B. (2010).** Especies forrajeras multipropósitos: opciones para productores del trópico americano. Cali, Colombia.
- Pound, B. (2007).** Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible de América.
- Qasem, JR; Biftu, KN. (2010).** Growth Analysis and Responses of Cowpea (*Vigna Sinensis* (L.) Savi ExHassk. and Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), Grown in Pure and Mixed Stands, to Density and Water Stresses. *The Open Horticulture Journal* 2010 (3): 21-30.

Qiao, Y., Tang, C., Han, X. & Miao, S. (2007). Phosphorus deficiency delays the onset of nodule function in soybean. *Journal of Plant Nutrition* 30, 1341–1353

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org/>.

Rose, T.J. & Wissuwa, M. (2012). Rethinking internal phosphorus utilization efficiency: a new approach is needed to improve PUE in grain crops. *Advances in Agronomy* 116, 185-217.

Romero, S. (2003). Efecto del cultivo de leguminosas, sobre el suelo de la Finca La Majada (Lecheguagos, León). Recuperado: 26 de Julio del 2018

Snapp, S.S., S.M. Swinton, R. Labarta, D. Mutch, J.R. Black, R. Leep, J. Nyiraneza, and K. O’Neil (2005). Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agron. J.* 97:322–332.

Taiz, L; Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. 5th ed. Sinauer Associates, Incorporated, Redwood City, CA. p. 644-645.

Tapia, H. & Herrera, G. 1983. El Frijol de Costa *Vigna unguiculata* en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 7 p.

Tinoco. F. & Arauz. O, (2013). Efecto de niveles de fertilización sintética en el comportamiento agronómico y rendimientos productivo de chiltoma (*Capsicum annum*), el Chile Matagalpa. Monografía para optar al título de ingeniería agronómica. UNAN-FAREM-Matagalpa, Nicaragua

Tropical Forages, (2008). *Vigna unguiculata* (L.) Walp. [en línea]. Disponible en <http://www.tropicalforeges.info>.

Unger, P.W., Fryrear, D., W., & Lindstrom, M., J. (2006) Soil conservation In: G.A. Peterson et al., editors, Dryland agriculture. Agron. Monogr. 23. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. p. 87–112

Vance, C. P., Udhe-Stone, C., & Allan, D. L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*157, 423–447

Van Rij, N. (1999). Production of cowpea in Kwazulu-Natal. *Agri Update*.

Valdez, V., Rodier, F., Payre, H. & Drevon, J. J. (1996). Nodule permeability to O₂ and nitrogenase linked respiration in bean landraces varying in the tolerance of N₂ fixation to P deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*34, 871–878

Vivas, N. (2014). Caupí (*Vigna unguiculata*) y Canavalia (*Canavalia brasiliensis*) como materias primas no convencionales en alimentación de pollos de engorde. Universidad Nacional de Colombia. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Doctor en Ciencias Agropecuarias Producción Animal Tropical.

Waluyo, S. H., Lie, T.A. & 'T mannetje, L. (2004). Effect of phosphate on nodule primordia of soybean (*Glycine max*Merrill) in acid soils in rhizotron experiments. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 5, 37–44.

ANEXO

1. Salida del programa estadístico R para el GLMM para *Vigna unguiculata*

```
Generalized linear mixed model fit by maximum likelihood (Laplace Approximation) ['glmerMod']
Family: binomial ( logit )
Formula: vrad ~ trat + (tiempo | rep) + (1 | obs)
Data: vig
Weights: gridsize

      AIC      BIC   logLik deviance df.resid
1730.5 1754.0 -859.2  1718.5   369

Scaled residuals:
  Min    1Q   Median    3Q   Max
-2.0702 -0.4841 -0.0391  0.4754  3.4016

Random effects:
Groups Name      Variance Std.Dev. Corr
obs (Intercept)  0.03932  0.1983
rep (Intercept) 95.63490  9.7793
  tiempo         0.03889  0.1972 -1.00
Number of obs: 375, groups: obs, 375; rep, 8

Fixed effects:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.8056    0.9467   0.851  0.395
tratB        1.0075    0.6841   1.473  0.141

Correlation of Fixed Effects:
  (Intr)
tratB -0.573
```

2 Salida del programa estadístico R para el GLMM Plantas arvenses

```
Generalized linear mixed model fit by maximum likelihood (Laplace Approximation) ['glmerMod']
Family: binomial ( logit )
Formula: parv ~ trat + (tiempo | rep) + (1 | obs)
Data: vig
Weights: gridsize

      AIC      BIC    logLik deviance df.resid
 2204.0  2227.5 -1096.0  2192.0    370

Scaled residuals:
   Min     1Q   Median     3Q      Max
-1.26956 -0.50700 -0.04139  0.13795  0.57897

Random effects:
Groups Name      Variance Std.Dev.  Corr
obs  (Intercept)  1.384500  1.17665
rep  (Intercept)  7.123667  2.66902
      tiempo     0.009191  0.09587  -0.99
Number of obs: 376, groups: obs, 376; rep, 8

Fixed effects:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.9406    0.2859  -10.285 <2e-16 ***
tratB       -0.1295    0.2487   -0.521  0.603
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr)
tratB -0.39
```

3 Salida del programa estadístico R para el GLMM de Suelo desnudo

```
Generalized linear mixed model fit by maximum likelihood (Laplace Approximation) ['glmerMod']
Family: binomial ( logit )
Formula: sdes ~ trat + (tiempo | rep) + (1 | obs)
Data: vig
Weights: gridsize

      AIC      BIC   logLik deviance df.resid
2579.6 2603.2 -1283.8 2567.6    370

Scaled residuals:
  Min      1Q   Median     3Q      Max
-1.24999 -0.17904 0.04616 0.24462 1.85726

Random effects:
Groups Name      Variance Std.Dev. Corr
obs  (Intercept) 0.59684  0.7726
rep  (Intercept) 25.07325  5.0073
      tiempo    0.01926  0.1388 -0.99
Number of obs: 376, groups: obs, 376; rep, 8

Fixed effects:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.5013    1.9997    0.251  0.802
tratB       -0.9669    0.6307   -1.533  0.125

Correlation of Fixed Effects:
(Intr)
tratB 0.412
```

4. Salida del programa estadístico R para el RLM de Hoja

```
> # Robust linear model using "rlm" with "biweight MM" estimator.  
> require(MASS)  
Loading required package: MASS  
> fm1.rob<-rlm(ps~trat, data=vigh, method="MM")  
> summary(fm1.rob)
```

Call: rlm(formula = ps ~ trat, data = vigh, method = "MM")

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-8.102	-2.001	-0.172	2.993	12.148

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value
(Intercept)	16.8689	1.8723	9.0099
tratB	-6.4369	2.6478	-2.4311

Residual standard error: 3.754 on 14 degrees of freedom

5. Salida del programa estadístico R para el GSL Tallo

Generalized least squares fit by REML

Model: ps ~ trat

Data: vigt

AIC	BIC	logLik
110.5594	113.1156	-51.27971

Variance function:

Structure: Different standard deviations per stratum

Formula: ~1 | trat

Parameter estimates:

A	B
1.000000	1.184662

Coefficients:

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	22.57375	2.640364	8.549485	0.000
tratB	1.59875	4.093350	0.390572	0.702

Correlation:

(Intr)
tratB -0.645

6. Formato de anotación de datos para cobertura espacial

N° Foto	Fecha	N° Día del experimento	Hora de la foto	
			Inicio	Final
Observación:				

7. Formato de anotación de datos de biomasa aérea

Código		Órgano	Pesaje (g)			Contenido de materia seca (%)	Observación
Trat	Rep		Bolsa	verde	seco		

