

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

Trabajo de Graduación

**Láminas de riego y su efecto en la producción de
semilla de frijol común en la estación experimental
La Compañía, San Marcos, Carazo**

Autor

Br. Alba Noelia Ortiz Aragón

Asesor

MSc. Roberto Carlos Larios González

Managua, Nicaragua

Abril 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



*Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible*

Trabajo de Graduación

**Láminas de riego y su efecto en la producción de
semilla de frijol común en la estación experimental
La Compañía, San Marcos, Carazo**

Autor

Br. Alba Noelia Ortiz Aragón

Asesor

MSc. Roberto Carlos Larios González

**Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al título
profesional de Ingeniero Agrónomo**

Managua, Nicaragua

Abril, 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	5
3.2 Componentes químicos e hidrofísicos del suelo.....	6
3.3 Diseño experimental.....	7
3.4 Descripción de los tratamientos.....	7
3.5 Descripción del material vegetativo.....	10
3.6 Manejo agronómico.....	10
3.7 Variables evaluadas.....	11
3.7.1 Variables de crecimiento.....	12
3.7.2 Variables de rendimiento.....	12
3.7.3 Análisis de productividad del agua.....	13
3.8 Análisis estadístico.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1 Variables de crecimiento.....	15
4.1.1 Altura de planta (cm).....	15
4.1.2 Número de hojas por planta.....	18
4.2 Variables de rendimiento.....	20
4.2.1 Número de vainas por planta.....	20
4.2.2 Número de granos por vaina.....	22
4.2.3 Peso de 1 000 semillas (g).....	23
4.2.4 Rendimiento de semilla (kg ha ⁻¹).....	25
4.3 Análisis de productividad del agua (kg m ³).....	27
V. CONCLUSIONES.....	30
VI. RECOMENDACIONES.....	31
VII. LITERATURA CITADA.....	32
VIII. ANEXOS.....	40

DEDICATORIA

A mi madre, quien merece siempre la risa.

Br. Alba Noelia Ortiz Aragón

AGRADECIMIENTO

A Dios misericordioso, por inclinar su oído a mis palabras, guiar mi camino y tomar mi mano.

A mi mamá Martha C. Aragón Dávila, por apoyarme en cada momento de la vida, brindándome amor y amistad. Y a mi familia, por apoyar moralmente todo mi proceso de profesionalización.

Al MSc. Roberto Carlos Larios González, por contribuir a mi graduación como profesional y especialmente como humano.

Con mucha estima, a la Universidad Nacional Agraria, por ser mi segundo hogar durante cinco años.

Al MSc. Henry Duarte Canales, por su asesoría y discusiones técnicas en el cálculo de las láminas de riego.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) por hacer posible esta investigación al permitirnos el uso de las instalaciones de la estación experimental La Compañía, facilitar los insumos, material vegetal y personal de campo para el manejo del ensayo.

Especialmente al personal de campo de la estación experimental La Compañía, por su apoyo, acompañamiento y disposición durante todo el proceso de campo.

Br. Alba Noelia Ortiz Aragón

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1 Componentes de la fertilidad física y química del suelo, La Compañía 2019.....	7
2 Láminas, tiempo, intervalos y cantidad de riego usados en el estudio, La Compañía, 2019.....	7
3 Características agronómicas del cultivar INTA Jinotega Precoz.....	10
4 Dosis y momento de aplicación de insumos agrícolas para la producción de semilla de frijol, La Compañía, 2019.....	11

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1 Ubicación geográfica de la estación experimental La Compañía, INTA.....	5
2 Ubicación geográfica de la estación experimental La Compañía, INTA, donde se realizó el ensayo de determinación de lámina de riego.....	6
3 Altura (cm) de planta por influencia de tres láminas de riego, La Compañía, 2019.....	16
4 Número de hojas según lámina de riego, La Compañía, 2019.....	19
5 Número de vainas por planta por influencia de las láminas de riego, La Compañía, 2019.....	21
6 Número de granos por vaina según lámina de riego, La Compañía, 2019.....	22
7 Peso de 1 000 semillas por efecto de láminas de riego, La Compañía, 2019....	24
8 Rendimiento (kg ha ⁻¹) de semilla según láminas de riego, La Compañía 2019.....	26
9 Productividad del agua según lámina de riego, La Compañía, 2019.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1 Ecuaciones del método de niveles de humedad.....	41
2 Evapotranspiración por decenas 2009-2018, estación meteorológica Campos Azules, INETER (2018).....	42
3 Temperaturas (°C) y precipitaciones durante el período 2014-2018.....	43
4 Procedimiento de la activación de herramienta para análisis estadísticos en Excel.....	44
5 Programación de aplicación de lámina de riego uno (489 mm).....	45
6 Programación de aplicación de lámina de riego dos (298 mm).....	45
7 Programación de aplicación de lámina de riego tres (464 mm).....	45
8 Plano de campo.....	46
9 Registro de datos de variables de rendimiento.....	47
10 Procedimiento para el cálculo de la productividad de agua, según la metodología de González, Herrera y López (2010).....	48

RESUMEN

Los sistemas de riego para producir semilla de frijol común contribuyen a mejorar la producción en términos de calidad y volumen. El objetivo de esta investigación fue determinar una lámina de riego que permita un adecuado crecimiento y rendimiento en la producción de semilla usando riego por aspersión. Esta investigación se realizó en el período de febrero a abril del 2019 en la estación experimental La Compañía, del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria localizada en el km 45 de la carretera San Marcos-Masatepe en las coordenadas 11°54'30" de latitud Norte y 86°10'50" de longitud Oeste a una altitud de 470 msnm, con temperatura media de 24°C y precipitación anual entre 1 200 y 1 500 milímetros. Los suelos son andisoles y la zona se clasifica como tropical de sabana. Se usó un diseño de parcelas pareadas, utilizando tres parcelas según la relación matemática: si $A = B$ y $B = C$ entonces $A = C$; el cultivar evaluado fue INTA Jinotega Precoz. Los tratamientos fueron tres láminas de riego, la primera de 489 mm establecida por la estación experimental con tiempo de riego de 2 horas; la segunda de 298 mm, definida con el método de niveles de humedad con 1.5 horas de aplicación y la tercera de 464 mm, determinada por la intensidad de aplicación del sistema con 2.5 horas de riego. Las variables evaluadas fueron número de hojas, altura de planta, número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 1 000 semillas, rendimiento en kg ha^{-1} y análisis de productividad del agua. El análisis estadístico realizado fue una prueba de t de Student. Se obtuvo un mayor número de hojas por planta a los 39 días después de la siembra con la lámina de 489 mm. La lámina dos (298 mm) presentó los mejores resultados en altura de planta, número de vainas por planta, número de granos por vaina y mayor productividad del agua. No se registraron diferencias estadísticas en el peso de 1 000 semillas (g) y en el rendimiento en kg ha^{-1} , por lo que se sugiere utilizar la lámina de 298 mm para hacer un uso eficiente del agua, al reducir el tiempo de riego y la cantidad de agua aplicada.

Palabras clave: riego por aspersión, INTA Jinotega Precoz, tiempo de riego, crecimiento, rendimiento, productividad del agua.

ABSTRACT

The irrigation systems to produce common bean seed contribute to improve quality and volume production. The purpose of this research was to determine an irrigation sheet that allows adequate growth and yield in seed production using spray irrigation. This research was carried out from February to April 2019 in the experimental station La Compañía, belong to the Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria located at km 45 of the San Marcos-Masatepe road in geographic coordinates 11°54'30" North latitude and 86°10'50" West longitude at 470 meters above sea level, with an average temperature of 24°C and annual precipitation between 1 200 and 1 500 millimeters. The soils are andisols and the area was classified as tropical savannah. A layout of paired plots was used, using three plots according to the mathematical relationship: if $A = B$ and $B = C$, then $A = C$; the evaluated cultivar was INTA Jinotega Precoz. The treatments were three irrigation sheets, the first of 489 mm established by the experimental station with irrigation time of 2 hours; the second of 298 mm, defined with the method of humidity levels with 1.5 hours of irrigation time and the third of 464 mm, determined by the intensity of application of the system with 2.5 hours of irrigation time. The evaluated variables were number of leaves, plant height, number of pods per plant, number of grains per pod, weight of 1 000 seeds, yield in kg ha^{-1} and analysis of water productivity. A Student t test was performed to evaluate the studied variables. According to the results, the highest number of leaves per plant was obtained using the first treatment of irrigation sheet (489 mm). The second irrigation sheet (298 mm) presented better results in plant height, number of pods per plant, number of grains per pod and increased water productivity. There are no statistical differences in weight of 1 000 (g) seeds and yield in kg ha^{-1} , therefore, it is suggested to use the 298 mm irrigation sheet to make efficient use of water, by reducing the irrigation time and the amount of applied water.

Keywords: Spray irrigation, INTA Jinotega Precoz, irrigation time, growth, yield, water productivity.

I. INTRODUCCIÓN

El empleo de semilla de mala calidad, es una de las principales limitantes en la producción de frijol que se refleja en el rendimiento; así como la baja fertilidad del suelo y el uso de tecnología inadecuada (Roque, 2001); este planteamiento es afirmado por Doria (2010) quien menciona que el uso de semillas de calidad permite sustentar actividades agrícolas y contribuye significativamente en la mejora de la producción en términos de calidad y rentabilidad.

Bekele y Tilahun (2007) mencionan que una limitante es la disponibilidad de riego en los sistemas de producción, destacando que un apropiado manejo del recurso hídrico mediante la implementación de sistemas eficientes, garantiza mayores rendimientos. La FAO (2011) reporta que el uso de sistemas de riego en el cultivo de frijol con semilla certificada y el uso adecuado de fertilizantes, permite un aumento aproximado de 46%, así como la producción y disponibilidad en diferentes áreas, permitiendo el incremento y uso de semillas certificadas.

La producción de semilla es favorecida en los sistemas que cuentan con riego ya que permite aumentar las épocas de siembra y mantener la calidad de las cosechas.

En Nicaragua no se reportan áreas de producción de semilla con sistemas de riego; estos sistemas permitirían, en el caso de la región del Pacífico, obtener tres producciones en el año (primera, postrera y época seca), lo que contribuiría con una mayor disponibilidad de semilla.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado como la leguminosa alimenticia más importante en el trópico de América Latina; es cultivado generalmente por pequeños agricultores (Beebe, Rao y Cajiao, 2008), en pequeñas áreas y en condiciones de secano. La producción de frijol en Nicaragua, está diseminada por todo el territorio por su importancia en la alimentación humana, por su alto contenido de proteína (INTA, 2009) y por contribuir en la generación de empleos e ingresos económicos en las familias rurales (Solís, 2015).

González *et al.* (2017) enfatizan en la importancia del riego en el mejoramiento del rendimiento y la calidad de la semilla de frijol, resaltan la gestión adecuada del recurso hídrico y el comportamiento de las leguminosas ante el déficit y el exceso de agua.

En el ciclo 2017-2018 el área cosechada fue de 224 806.75 ha (319 900 mz), con producción de 4 261 900 quintales y rendimiento promedio de 590.85 kg ha⁻¹, equivalente a 13 qq mz⁻¹ (MAG, 2018); el consumo aproximado de frijol por persona en Nicaragua se estima en 30.45 kg (67 libras) al año (PPCC, 2018).

La semilla está considerada como uno de los insumos de mayor relevancia en la actividad agropecuaria. Roque (2001) enfatiza su importancia en el desarrollo tecnológico, principalmente por su efecto multiplicador; el que inicia en programas de mejoramiento genético y finaliza en la adopción por parte de los agricultores. Por esto, se considera a este recurso el de mayor incidencia, referente a la seguridad alimentaria y nutricional de cada país.

Los actores en la producción de semillas son varios, entre ellos el ente regulador, instituciones, unidades académicas, productores, bancas, servicios y usuarios. El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) a través del proyecto “*Investigación y Desarrollo para el Fomento de la Productividad de semilla de Frijol en Nicaragua*” presentó 16 cultivares disponibles de frijol con categorías genética, básica y registrada, todas ellas con adaptación al cambio climático, sequía, humedad y con demanda comercial por su alto contenido en hierro y zinc. Estos cultivares presentan adaptación a diferentes zonas agroclimáticas, lo que permite una mejor distribución y contribución en el incremento de la producción.

La estación experimental La Compañía, propiedad del INTA, se dedica a la producción, experimentación y validación de semilla de granos básicos, especialmente del cultivo de frijol por las condiciones edafoclimáticas que favorecen su producción. En el 2017 se estableció un sistema de riego por aspersión, sin embargo, se desconoce una lámina de riego óptima que permita un uso adecuado del recurso agua y la expresión del máximo rendimiento del cultivo.

El presente estudio tiene como propósito definir una lámina de riego como parte del uso eficiente del sistema de riego por aspersión en la producción de semilla certificada de frijol común, en la estación experimental La Compañía, San Marcos, Carazo.

II. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de tres láminas de riego por aspersión en el crecimiento de las plantas y el rendimiento de semilla de frijol común, en la estación experimental La Compañía, en el período de enero a abril del 2019.

1.2. Objetivo específicos

Evaluar el comportamiento en la altura y número de hojas en la planta de frijol por efecto de las láminas de riego.

Determinar la influencia de las láminas de riego en el número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de semilla y rendimiento.

Analizar la productividad del agua de las láminas de riego en relación al rendimiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en la estación experimental La Compañía, subsecuentemente referida como La Compañía, propiedad del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) durante los meses de enero a marzo del 2019 (época seca). Se encuentra localizada en el kilómetro 45 de la carretera San Marcos-Masatepe, departamento de Carazo. Según INETER (2018), La Compañía está ubicada en las coordenadas geográficas 11°54'30" de latitud Norte y 86°10'50" de longitud Oeste, a una altitud de 470 msnm.

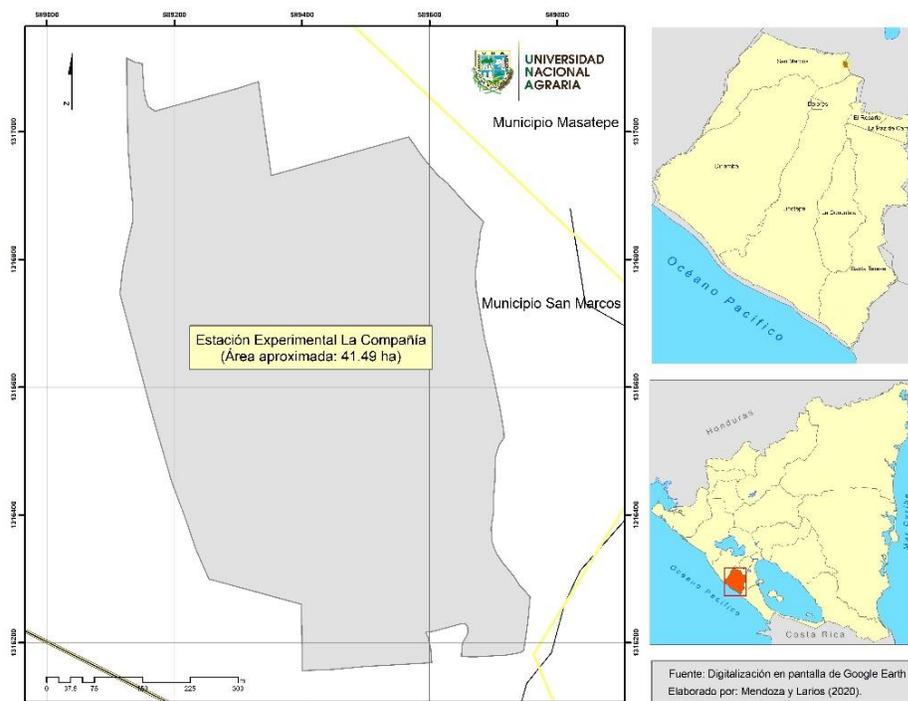


Figura 1. Ubicación geográfica de la estación experimental La Compañía
Fuente: Mendoza y Larios (2020)¹.

La temperatura promedio anual es de 24°C, con precipitación anual entre 1 200 y 1 500 mm y humedad relativa de 85% (INETER, 2018). Se ubica en la zona de vida de Bosque Tropical Pre Montano Húmedo (Holdridge, 1987). Koppen clasifica a esta zona como tropical de sabana.

¹ Mendoza-Jara, FJ; Larios-González, RC. 2020. Profesores Titulares, Universidad Nacional Agraria.

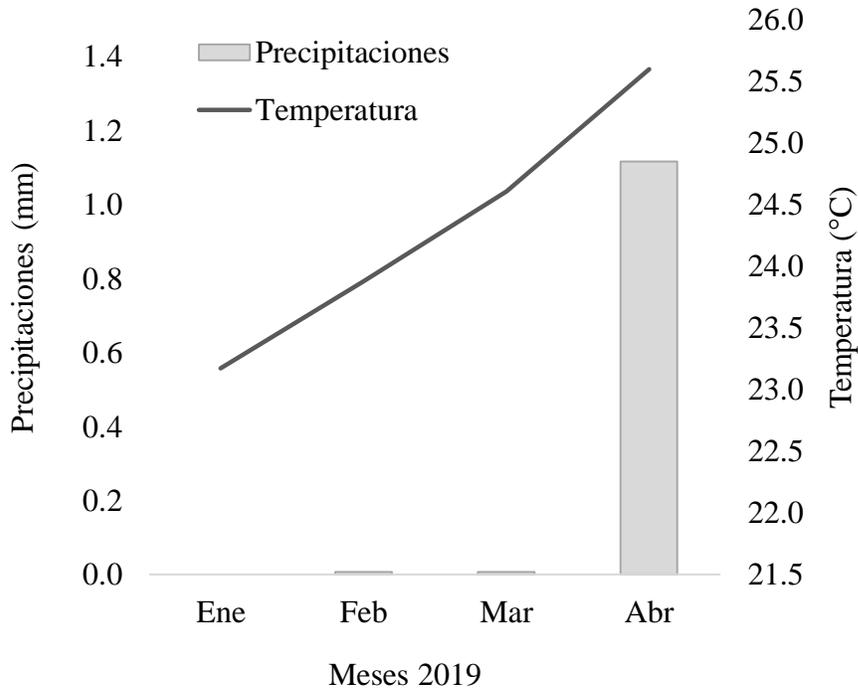


Figura 2. Climograma del período enero-abril 2019, La Compañía.
Fuente: INETER (2020).

3.2 Componentes químicos e hidrofísicos del suelo

El suelo está catalogado como franco limoso, pertenece al orden Andisol y al sub orden Ustands (MAG *et al.*, 2015); de origen volcánico, formado a partir de cenizas y vidrio volcánico, así como de otros materiales piroclásticos, de color oscuro, altamente poroso, ligero, permeable, de buena estructura y fáciles de trabajar.

Presentan una orientación típica de suelos jóvenes, con una secuencia A-Bw-C-R, son altamente productivos por su fertilidad, aunque retienen fósforo, son profundos a moderadamente profundos, con escurrimiento superficial lento a moderado y riesgo de erosión casi nulo o moderado (MAG *et al.*, 2015).

La distribución porcentual de las partículas del suelo según UNA-LABSA (2019), corresponde a: arena, 17.67%; limo (grueso y fino), 57.15% y arcilla, 25.17%.

Cuadro 1. Componentes de la fertilidad física y química del suelo, La Compañía 2019

	Da (g cm³)	pH	CC (%)	PMP (%)	CE (μS cm⁻¹)	Textura
	0.72	6.2	30.05	16.24	43.9	Franco limoso
Criterio	Baja	LA	Mediana	Mediana	No salino	Mediana

Da: Densidad aparente; pH: poder de hidrógeno; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; CE: Conductividad eléctrica: μS/cm; microSiemens cm⁻¹; LA: ligeramente ácido.

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, (2019).

3.3 Diseño experimental

Se estableció un diseño de parcelas apareadas con tres parcelas según la relación matemática: si $A = B$ y $B = C$ entonces $A = C$. Esto permitió comparar las tres láminas de riego bajo el principio: si la lámina uno es igual a la lámina dos; y la lámina dos es igual a la lámina tres; entonces, la lámina uno es igual a la lámina tres.

La dimensión de cada unidad experimental fue de 36 m de largo por 24 m de ancho, para un área de 864 m² y un total de la parcela experimental (tres parcelas) de 2 592 m², cada parcela fue separada a 12 m de distancia.

3.4 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron tres tratamientos, el tratamiento uno corresponde a 489 mm, lámina usada por La Compañía. La lámina dos, de 298 mm fue definida a través del método de niveles de humedad (Anexo 1), tomando en cuenta la capa activa de las raíces. La lámina tres de 464 mm se determinó calculando la intensidad de aplicación del sistema, ajustando el tiempo de riego.

Cuadro 2. Láminas, tiempo, intervalos y cantidad de riego usados en el estudio, La Compañía, 2019

Tratamiento	Lámina (mm)	TR (horas)	IR (días)	Cantidad de riegos aplicados
T ₁ (lámina 1)	489	2.0	1	29
T ₂ (lámina 2)	298	1.5	1	23
T ₃ (lámina 3)	464	2.5	2	19

TR: Tiempo de riego; IR: intervalo de riego.

Para calcular la segunda lámina de riego, se realizó un muestreo de suelo, que consistió en la obtención de 25 sub muestras a una profundidad de 20 cm, para determinar capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), potencial de hidrógeno (pH), densidad aparente (Da) conductividad eléctrica y textura del suelo.

Para determinar el pH, PMP, y CC se colectaron las muestras de suelo usando un barreno helicoidal. Del total de sub muestras de suelo por área, se obtuvo una muestra homogénea de 1.5 kg, la cual fue empacada en bolsa y trasladada al laboratorio de física de suelo de la Universidad Nacional Agraria (UNA) para ser tamizada; dichas muestras se dividieron en tres porciones iguales y fueron ingresadas para su análisis físico y químico en el laboratorio de suelo y agua (LABSA) de la (UNA) en Managua, Nicaragua.

Para la determinación de la densidad aparente, las muestras fueron extraídas en un rango de 0 a 0.10 m y 0.10 a 0.20 m de profundidad, se utilizó el método del cilindro (UNA-LABSA, 2011) usando la columna de suelo como indicador de volumen (100 cm³) y el peso del suelo contenido en ese volumen.

La determinación de la densidad aparente se realizó considerando la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{V}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

Pss: Peso del suelo seco

V: Volumen del suelo

Se procesaron datos meteorológicos por decena correspondientes a los meses de enero, febrero, marzo y abril desde el año 2009 al 2018, con el objetivo de obtener el valor de la evapotranspiración; en el caso de las temperaturas y las precipitaciones, se consideró el período 2014-2018 durante los mismos meses (Anexo 2 y 3). Esta información permite

completar y calcular los elementos del régimen de riego en función de la lámina neta, lámina bruta, intensidad de aplicación, tiempo e intervalo de riego.

Se utilizó un sistema de riego por aspersión móvil, en el caso del área experimental estaba formado por una tubería principal y por cuatro tuberías laterales separadas 12 m entre sí. El sistema de riego utiliza aspersores modelo 5035 SD con rendimiento de 5.0 bares (b) de presión, y caudal (Q) de $1.040 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (NDJ, 2013).

Pascual (2007) define el riego por aspersión como una técnica que distribuye el agua de riego en forma de lluvia mediante la utilización de aparatos que pulverizan el agua en forma de gotas pequeñas.

Este sistema de riego tiene la ventaja, según Losada (2005), de poderse utilizar en condiciones diversas respecto a suelo, clima, cultivos, mano de obra, tecnología y recursos, sin embargo, la uniformidad de aplicación es afectada, como indica Dechmi *et al.* (2004) por el viento, siendo este el principal factor que distorsiona el patrón de distribución del agua repercutiendo en el rendimiento; lo que tiene una relación directa con el tipo de emisor, diámetro de la boquilla, presión de trabajo y altura de la boquilla.

Ortiz, Miranda y Peroza (2012) afirman que velocidad de viento mayor a 2.1 m s^{-1} , resulta en una distribución desigual del agua en sistemas de riego por aspersión, aplicando mayor cantidad en una zona y provocando estrés hídrico en otras, lo que puede significar pérdidas en el rendimiento

Las variaciones de la cantidad de agua aplicada en la lámina dos y tres se consideraron en función del desarrollo del sistema radicular y la humedad en los primeros 10 y 15 cm del perfil del suelo. Esto permitió variar el tiempo de riego y la intensidad del mismo.

3.5 Descripción del material vegetativo

El cultivar utilizado fue INTA Jinotega Precoz, semilla generada por el INTA. Este cultivar presenta buen potencial productivo, es resistente a mosaico dorado, mosaico común, pudriciones radiculares y roya. Es precoz, tolerante a sequía, presenta buenas características organolépticas, buen color de grano, buena arquitectura de planta, tolerante a condiciones variables de clima y amplia adaptación (Obando *et al.*, 2017)

Cuadro 3. Características agronómicas del cultivar INTA Jinotega Precoz

Característica	Indicador
Color predominante de las hojas primarias	Verde
Días a prefloración	25 días
Días a floración	32 días
Color de la flor	Blanca
Habito de crecimiento	2b - indeterminado guía larga
Reacción al acame	No se acama
Días a maduración	60-65 días
Color de vainas a maduración	Rojizo
Color del tallo principal	Verde
Hojas Color	Verde
Distribución de las vainas	Distribución uniforme en la parte media
Color predominante de las vainas a la cosecha	Café
Forma predominante de la semilla	Roja, pequeña brillante
Peso de 100 semillas	23-25 g
Reacción al Mosaico dorado	Resistente
Bacteriosis común	Tolerancia intermedia
Mancha angular del frijol	Tolerancia intermedia

Fuente: INTA (2017).

3.6 Manejo agronómico

La preparación del terreno y siembra se realizó mediante labranza mínima con maquinaria (chapia, aplicación de herbicida, siembra y fertilización). La distancia de siembra fue de 60 cm entre surco con siembra a chorrillo, aproximadamente a 10 cm entre planta, para un promedio de posturas de 10 a 12 semillas por metro lineal.

Todo el manejo agronómico del área experimental (manejo de arvenses, plagas, enfermedades y fertilización) se realizó de acuerdo a la planificación técnica establecida en

La Compañía, para la producción de semilla certificada, que incluye labranza mínima con maquinaria, fertilización edáfica y foliar, manejo químico de arvenses, prevención y manejo de plagas y enfermedades (Cuadro 4.)

Cuadro 4. Dosis y momento de aplicación de insumos agrícolas para la producción de semilla de frijol, La Compañía, 2019

	Descripción	Dosis	Momento
Fertilizantes	Sulfato de amonio	3 kg ha ⁻¹	Pre emergencia
	18-46-0	130 kg ha ⁻¹	Siembra
	12-30-10 + Urea 46% N	65 kg ha ⁻¹ + 65 kg ha ⁻¹	11 dds
	18-46-0 + Urea 46% N	130 kg ha ⁻¹	21 dds
	12-30-10	259 kg ha ⁻¹	29 dds
Herbicidas	Glifosato	4 l ha ⁻¹	Pre emergencia
	Gramoxón	213 l ha ⁻¹	3 dds
	Flex + Fusilade	500 ml + 500 ml / 200 l H ₂ O	28 dds
Aplicación foliar (insecticidas, funguicidas y fertilizante)	Engeo + ABATAR + Alga 600	100 ml + 150 ml + 300 g / 200 l H ₂ O	10 dds
	Diazinon + Milagro 20-20-20	200 ml + 400 g / 200 l H ₂ O	14 dds
	Cazador + Cobre + Milagro 20-20-20	300 ml + 200 g + 400 g / 200 l H ₂ O	18 dds
	Cazador + Kalex	400 ml + 400 ml / 200 l H ₂ O	20 dds
	Diazinon + Cipermetrina + Milagro 20-20-20	200 ml + 200 ml + 400 g / 200 l H ₂ O	24 dds
	Abamectina + Abatar + Tacre 10-11-7	150 ml + 200 ml + 500 ml / 200 l H ₂ O	30 dds

dds: días después de la siembra

Fuente: INTA- Estación Experimental La Compañía, (2019).

3.7 Variables evaluadas

Se evaluaron variables de crecimiento y rendimiento. Para el registro de los datos, se seleccionaron 10 puntos al azar, en cada uno se registró el dato de diez plantas, tomando en cuenta uniformidad en la hilera y efecto de borde.

3.7.1 Variables de crecimiento

Estas variables se registraron en las etapas fenológicas correspondientes a R5 (prefloración), R6 (floración), R7 (formación de vainas) y R8 (llenado de vainas).

Altura de planta (cm)

Se midió con cinta métrica desde la base del tallo hasta la última hoja trifoliada desplegada. Esta variable se registró cada siete días a partir de los 32 días después de la siembra hasta los 46 días después de la siembra (dds).

Número de hojas por planta

Se consideraron las hojas fotosintéticamente activas, el registro se realizó a partir de los 32 días después de la siembra hasta los 46 dds.

3.7.2 Variables de rendimiento

Estas variables se midieron al momento de la cosecha. En el caso de los componentes del rendimiento (número de vainas por planta y número de granos por vaina) se registraron en 10 sitios al azar, cada uno dentro de la parcela útil; cada sitio estuvo conformado por la cantidad de plantas distribuidas en un metro lineal.

Número de vainas por planta

Se contabilizaron todas las vainas en cada planta dentro de cada sitio.

Número de granos por vaina

Se contabilizó el número de granos en cinco vainas por cada planta muestreada; se consideraron vainas en la parte alta, media y baja de la planta, y se obtuvo un valor promedio.

Peso de semilla (g)

De la cosecha de cada parcela se registró el peso de 1 000 semillas, haciendo uso de una balanza electrónica portátil marca Ohaus Scout Pro, modelo SP2001 con capacidad de 2 000 gramos y capacidad de legibilidad o resolución igual a 0.1 gramo.

Rendimiento de semilla (kg ha⁻¹)

El rendimiento se obtuvo del total de semillas cosechadas en las parcelas, expresado en kg ha⁻¹ y ajustada a 14% de humedad, mediante la ecuación propuesta por Aguirre y Peske (1988).

$$Pf = \frac{Pi (100 - Hi)}{(100 - Hf)}$$

Donde:

Pf: Peso final (kg)

Pi: Peso inicial (kg)

Hi: Contenido de humedad inicial de la semilla (%)

Hf: Contenido de humedad final de la semilla (14%)

La humedad de la semilla se determinó usando un medidor de humedad de grano electrónico portátil marca John Deere, PLUSTM SW08120, con precisión de ±5% y rango de humedad de 5% a 40%.

3.7.3 Análisis de productividad del agua (kg m³)

Esta variable se determinó utilizando los procedimientos descritos por González, Herrera y López (2010) quienes plantean la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema a través de las láminas de riego; según la siguiente ecuación:

$$WP = \frac{R}{I}$$

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg m^3)

R: Rendimiento (kg ha^{-1})

I: Lámina de agua aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

3.8 Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico se elaboró una base de datos en Excel y se realizó la prueba de t de Student con un margen de error de 5% para parcelas apareadas según la razón matemática si $A=B$ y $B=C$ entonces $A=C$, esta relación establece la diferencia o similitud que existe entre dos muestras emparejadas, lo que significa que si la parcela A es estadísticamente igual a la parcela B y al comparar la parcela B con la C también son estadísticamente iguales, entonces la parcela A es igual a la parcela C. El análisis estadístico se realizó con Excel 2016, con previa activación de herramientas para análisis de datos (Anexo 4).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de crecimiento

El crecimiento está referido al aumento en el tamaño de un organismo, que ocurre por procesos como la morfogénesis (formación de órganos) y la diferenciación celular (Taiz y Zeiger, 2006).

El crecimiento es un proceso fisiológico que está determinado, en el caso de las plantas, por el clima, el suelo, genética y el manejo. Aschan y Pfaniz (2003) determinan el crecimiento de las plantas como el resultado de la expansión de células jóvenes producidas por divisiones meristemáticas.

Hunt (2003) indica que el análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa que hace uso de datos simples y básicos, para la descripción e interpretación de las plantas que crecen en un ambiente natural, seminatural o controlado.

4.1.1 Altura de planta (cm)

La altura de planta es una característica fisiológica de importancia en el crecimiento y desarrollo (Blessing y Hernández, 2009), determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis (Somarriba, 1998).

Cabrera y Reyes (2008) refieren que en el cultivo de frijol el tallo es identificado como el eje central de la planta, formado por una sucesión de nudos y entrenudos definido por caracteres morfológicos y agronómicos que determinan el hábito de crecimiento. En esta característica influye la genética, el ambiente y la fertilidad global del suelo.

La altura adecuada de una planta, es una característica relevante ya que contribuye a una mejor captación de la radiación solar, que se traduce en un mejor proceso fotosintético,

además, permite que el cultivo esté en ventajas en la competencia inter-específica con las arvenses.

En la Figura 3 se observan los cambios de la altura de planta según las láminas de riego y el momento de muestreo. Se registra mayor altura a los 46 días después de la siembra (dds) por efecto de la aplicación de la lámina correspondiente a 298 mm.

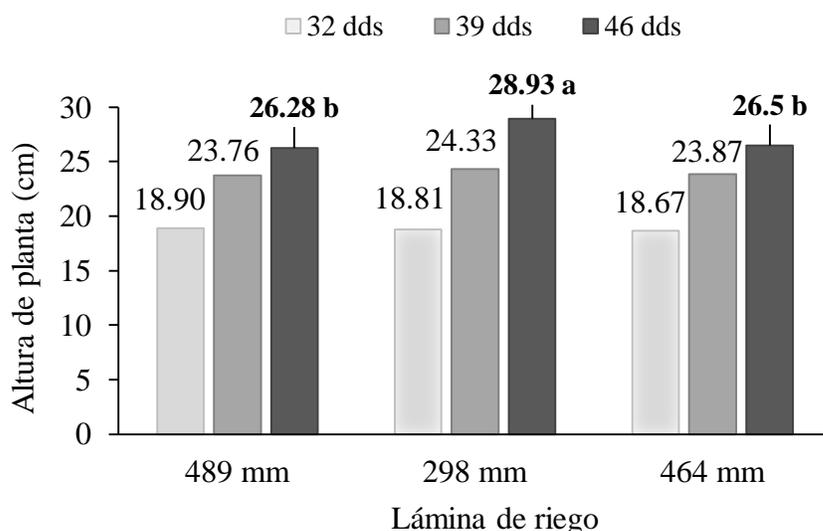


Figura 3. Altura (cm) de planta por influencia de las láminas de riego, La Compañía, 2019.

Duarte (2018) considera que la demanda óptima para el cultivo de frijol es de 300 mm de agua bien distribuida durante el ciclo del cultivo, cantidad que se ubica en el rango planteado por el INTA (2009), al considerar que los requerimientos hídricos se sitúan entre 200 y 400 mm. La lámina dos, proporciona cantidades similares a las propuestas, lo que refiere que 298 mm es una cantidad adecuada para el crecimiento del cultivo.

Aguilar-Benítez *et al.* (2012) hacen referencia a la imposibilidad del frijol de asimilar nutrientes en suelos con niveles de humedad que supere la capacidad de campo; demostrando que el cultivar INTA Jinotega Precoz es susceptible a estrés hídrico por exceso de agua.

Ríos y Quirós (2002) determinaron que el agua es un elemento indispensable para el crecimiento y desarrollo de la planta, indican que la planta cuenta con mecanismos de

tolerancia a condiciones de estrés por falta de agua, lo que se traduce en un aumento en el crecimiento de las raíces y formación de raíces adventicias, para mejorar la absorción, lo que no ocurrió en condiciones de anegamiento.

Meriño *et al.* (2015) determinaron que el frijol requiere que el suelo presente entre 60 y 70% de humedad a lo largo del ciclo productivo, lo que sugiere que la lámina uno y tres, al proporcionar mayor cantidad de agua, someten a la planta a condiciones de exceso de humedad, afectando procesos fisiológicos que influyen en el crecimiento del frijol.

Dos procesos fisiológicos que afectan el crecimiento de las plantas en exceso de humedad en el suelo son la respiración; por la falta de oxígeno en los poros del suelo; y la absorción de nutrientes, al influir en los procesos de reducción y lixiviación.

Arias, Jaramillo y Rengifo (2007) estipulan que los requerimientos hídricos dependen de factores edafoclimáticos y genéticos, determinando que los requerimientos de agua de frijol varían entre 300 y 362 mm en variedades arbustivas. González *et al.* (2017), expresan que los requerimientos hídricos se satisfacen con una norma total neta de 252 mm, similar a la propuesta por Herrera *et al.* (2013) de 256 mm y 300 mm propuesta por Duarte *et al.* (2015). La lámina dos (298 mm) se encuentra entre los rangos establecidos por estos autores, calculada en función del desarrollo del sistema radicular.

Según el INTA (2018) la variedad Rojo Criollo e INTA Rojo Acriollado, presentan alturas de planta de 35.5 y 36 cm respectivamente, ambos de crecimiento indeterminado; datos inferiores se obtuvieron para el cultivar en estudio (INTA Jinotega Precoz), pero similares a los repostados por Flores-Pachecho, Lazo y Méndez (2019), con un promedio de 20.57 cm para el cultivar INTA Rojo.

Rosas (2003) determinó que la altura de planta presenta variaciones en su expresión de crecimiento, la que puede estar influenciada por condiciones ambientales.

Durante el período del ensayo se presentaron fuertes vientos, condición característica de la zona y de esta época del año (febrero-abril). INETER (2019) reporta velocidades del viento para febrero, marzo y abril igual a 6.3, 6.9 y 5.2 m s⁻¹, fueron los vientos más intensos reportados en este año, influyendo en la altura de planta y otras expresiones del crecimiento, con resultados inferiores a los normales.

El comportamiento y la adaptabilidad de los cultivares se ve determinado por factores ambientales del área de producción, necesidades hídricas y época de siembra, lo que demuestra Cabrera (2011), al señalar que en condiciones edafoclimáticas adversas, los cultivares presentan un índice de estrés que varía de acuerdo al nivel de tolerancia de cada cultivar.

4.1.2 Número de hojas por planta

Las hojas son órganos verdes de forma laminar y de consistencia herbácea insertadas en los nudos del tallo y las ramas (Fuentes, 2001); Cejas (2014) plantea que las hojas primarias se forman en la semilla durante la embriogénesis (transformación de una célula, en un individuo multicelular) y caen antes de que la planta esté completamente desarrollada.

Las hojas compuestas del frijol, se clasifican como trifoliadas, por presentar tres folíolos, un pecíolo y un raquis (Arias, Jaramillo y Rengifo, 2007); las características de las hojas varían de acuerdo al cultivar.

Hubo diferencias estadísticas únicamente a los 39 dds, con registros mayores del número de hojas por planta con la aplicación de 489 mm de agua, correspondiente al tratamiento uno.

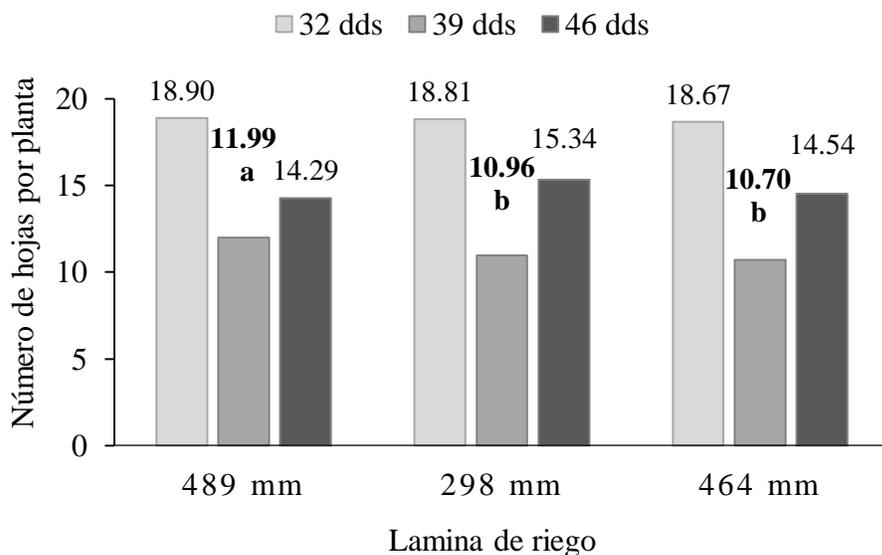


Figura 4. Número de hojas según lámina de riego, La Compañía, 2019.

A los 39 dds el cultivo se encuentra en la fase fenológica R6 (floración); tiempo de mayor requerimiento hídrico; por lo que una menor disponibilidad de agua, afecta el crecimiento celular, disminuye la longitud del tallo, el área foliar y la producción de biomasa (Singh y Singh, 2006), por lo que se requiere de un suministro adecuado en términos de cantidad y distribución. Luna-Flores *et al.* (2012) afirman que el crecimiento foliar es uno de los primeros procesos fisiológicos que es afectado por la baja disponibilidad de agua.

La lámina que suministró mayor cantidad de agua contribuyó a que el cultivo desplegara mayor cantidad de hojas, coincidiendo con la etapa de mayor requerimiento hídrico. El INTA (2009) reporta que la demanda de agua de frijol depende de la fase de desarrollo y establece que el cultivo es exigente en la fase de germinación y muy exigente en la fase de diferenciación floral.

Polanía *et al.* (2012) registraron 73% de aumento en la producción de biomasa aérea en plantas de frijol, cuando estuvieron bien abastecidas de agua en comparación con plantas mal provistas. Romero *et al.* (2015) determinaron que una alta biomasa aérea está asociada con mayor producción de fotoasimilados en función de la disponibilidad de agua.

A los 46 días después de la siembra, la variable no difiere con respecto a las láminas aplicadas, posiblemente debido a que el cultivo en esta fase ha expresado su máximo crecimiento en función de las características genéticas propias del cultivar.

4.2 Variables de rendimiento

Valle (2013) manifiesta que el rendimiento del frijol está definido por el número de vainas y número de granos por vainas; así como el peso seco del grano, condición que resalta Peralta (2000) al expresar que estos componentes del rendimiento, dependen del número de flores que tenga la planta en la fase reproductiva y la influencia de factores ambientales.

De la Fé Montenegro *et al.* (2016) relacionan el rendimiento con la masa de granos y el número de granos por vainas y la necesidad de garantizar semilla de calidad. Considerando la influencia de factores ambientales, herencia genética de los cultivares, condiciones de suelo y clima, así como labores de manejo.

4.2.1 Número de vainas por planta

El número de vainas por planta se identifica como componente asociado con el mayor potencial de rendimiento, permite caracterizar formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común (Lépiz *et al.*, 2010). El número de vainas por planta es un carácter influenciado por el ambiente, lo que determina el rendimiento final (Barrios *et al.*, 2010).

Se obtuvo mayor número de vainas por plantas por influencia de la aplicación de la lámina de 298 mm (Figura 5), correspondiente a la menor lámina de agua aplicada y resulta ser la cantidad de agua adecuada para favorecer el comportamiento de componentes del rendimiento como el número de vainas por planta.

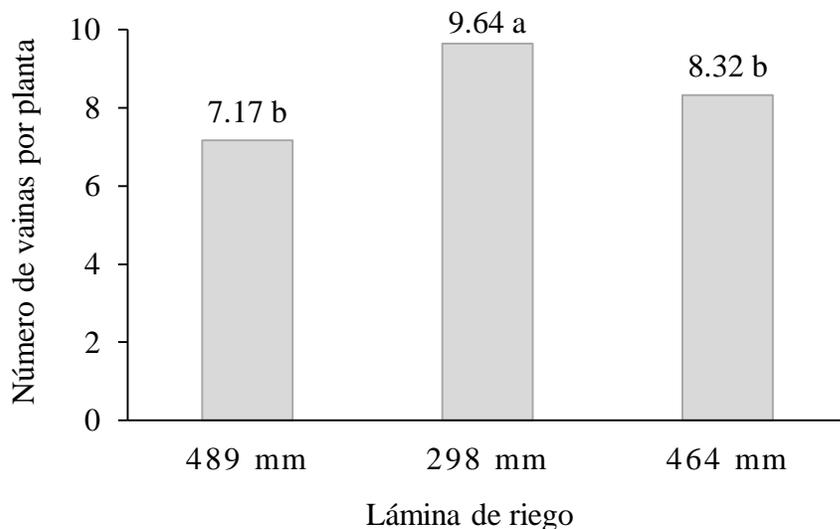


Figura 5. Número de vainas por planta por influencia de las láminas de riego, La Compañía, 2019.

Joya y Leiva (2006) relacionan condiciones de alta intensidad de radiación solar e incremento de área foliar en el aumento de la capacidad fotosintética de la vaina, estimulando la formación de granos. Assefa *et al.* (2013) registraron una disminución del número vainas y semillas hasta en un 70% en función de la disponibilidad hídrica.

La aplicación de 298 mm satisfizo los requerimientos hídricos, permitiendo el desarrollo de órganos reproductivos que posibilitan la producción de vainas y granos. Nuñez *et al.* (2005) determinaron que en relación a la poca disponibilidad de agua el número de flores disminuye hasta un 47%, afectando el número de vainas por planta.

El mayor consumo de agua ocurre en las etapas de floración y formación de vainas (Ríos y Quirós, 2002); la lámina de 298 mm suministró esta demanda y permitió obtener los mejores valores en las variables del rendimiento final y utilizar de forma eficiente el recurso hídrico. Escobar (2018) expresa que un sistema agrícola comienza a ser deficiente cuando no se hace un uso eficiente del agua.

4.2.2 Número de granos por vaina

El número de granos por vaina contribuye efectivamente en el incremento del rendimiento (Zilo *et al.* 2011), representa valores de importancia antropogénica, como el aumento de tamaño en la semilla (Peña *et al.* 2012); su expresión es propia de características genéticas y la influencia del ambiente.

Este carácter constituye un importante componente del rendimiento en el cultivo del frijol común, unido al número de vainas por planta, define en alta medida el rendimiento de este cultivo (Silva *et al.*, 2011; Zilio *et al.*, 2011). El riego como parte del manejo agronómico, debe de ser óptimo para el cultivo y junto a otros factores, permitan el máximo crecimiento y desarrollo del frijol.

En la Figura 6, se observan dos categorías estadísticas. La lámina de 298 mm, registra un mayor número de granos por vaina, estadísticamente superior a las aplicaciones de mayor cantidad de agua.

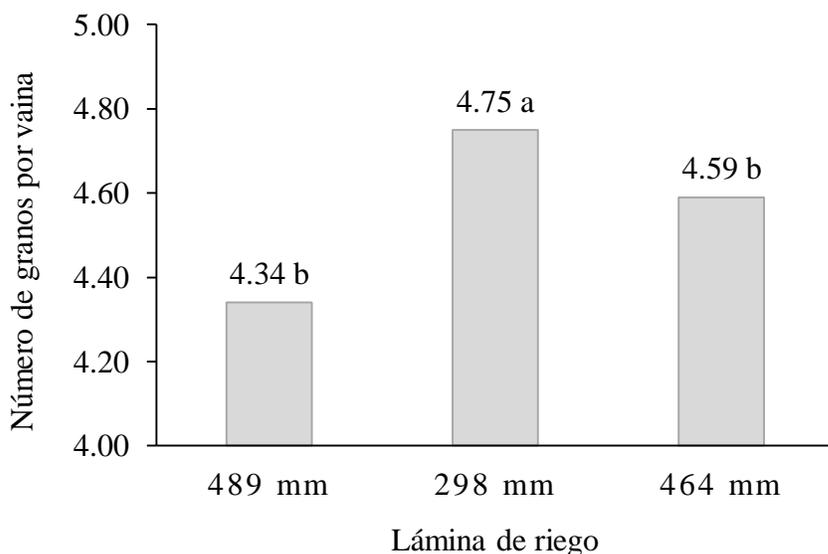


Figura 6. Número de granos por vaina según lámina de riego, La Compañía, 2019.

Se estima el efecto positivo al proporcionar la lámina de menor cantidad de agua, en la obtención de mayor número de granos. Polón *et al.* (2014) obtuvieron mayor número de

granos al someter al cultivo a menor cantidad de agua durante la etapa vegetativa. Relacionado con lo propuesto por Martínez *et al.* (2007) quienes establecen que el número de semillas es poco afectado por condiciones de estrés.

Con la lámina con la menor cantidad de agua (en este caso) se obtuvieron los mejores resultados y se redujo el gasto de agua y energía.

Los datos obtenidos se ubican en los rangos reportados por De la Fé Montenegro *et al.* (2016) quienes registraron entre 4 y 5.5 granos por vaina en cultivares que se adaptan a condiciones ambientales variables, presentando características agronómicas similares al cultivar utilizado.

Acosta-Gallegos *et al.* (2000) indican que, con el uso de variedades mejoradas conducidas tradicionalmente mediante riego por aspersión, puede incrementarse significativamente el rendimiento de grano; una lámina óptima de riego que considere aspectos fenológicos, morfológicos y edafoclimáticos, contribuye efectivamente en la producción de semilla y permite obtener mayor índice de producción por individuos.

Con la lámina dos (298 mm) se obtiene un número mayor de granos, lo cual tiene relación directa con el rendimiento final. La planta cuenta con la abundancia y la cantidad de agua requerida para sostener sus necesidades metabólicas y nutricionales (Benavides *et al.*, 2002), lo que representa especial interés en la producción de semilla y el uso eficiente de agua, tomando en cuenta que esta lámina proporciona menor cantidad de agua, en menos tiempo de riego durante todo el ciclo del cultivo.

4.2.3 Peso de 1 000 semillas (g)

El peso de semillas permite calcular la norma de siembra para cada ciclo de multiplicación y la norma de siembra comercial; los trabajos de investigación permiten identificar tratamientos que producen semillas con mayor volumen y los factores que tienen incidencia

en la expresión de este carácter, como la topografía y el gradiente de fertilidad (M.D. Fornos, comunicación personal, 14 de octubre, 2019).

Sánchez *et al.* (2002) determinaron que el peso de la semilla es un carácter clave que permite entender la biología reproductiva de las especies; afirmación que complementan Turn-Bull, Rees y Crawley (1999) quienes incluyen el tamaño y la capacidad competitiva de la plántula.

No se obtuvieron diferencias estadísticas en el peso de 1 000 semillas por influencia de las láminas de riego.

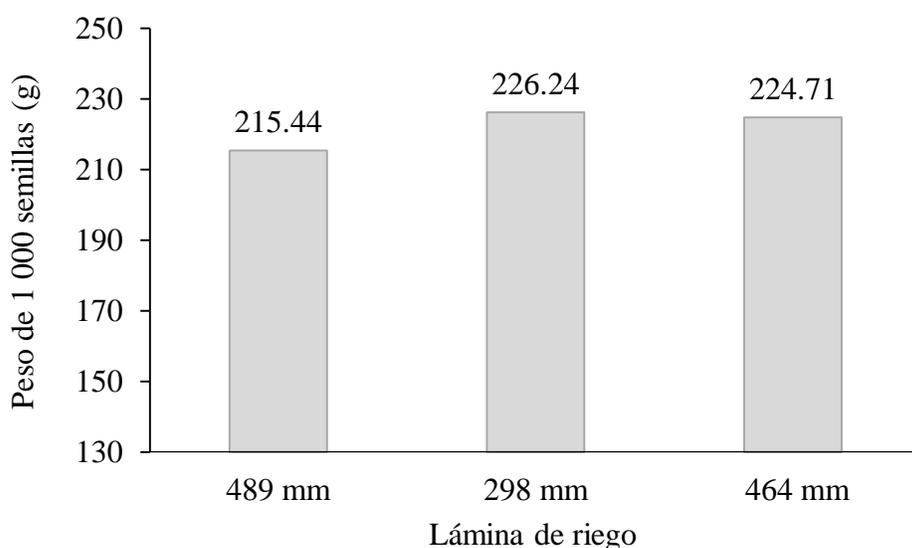


Figura 7. Peso de 1 000 semillas por efecto de láminas de riego, La Compañía, 2019.

Según el INTA (2017) el cultivar INTA Jinotega Precoz, alcanza valores en peso de 100 semillas, entre 23 y 25 gramos, lo que equivale a 230 y 250 gramos en 1 000 semillas. La lámina de 298 mm permite la obtención de los valores más cercanos a los establecidos en los descriptores varietales.

Duarte (2018), obtuvo valores entre 200 y 230 gramos por cada 1 000 semillas en variedades locales, indicando que la obtención de mayor peso de semilla en condiciones de menor humedad, permiten ubicar a los genotipos o líneas como individuos de buen rendimiento; por su parte Beebe *et al.* (2000) determinaron que la reducción del peso de la semilla está

relacionado a la genética, al mayor número de vainas por planta y a la cantidad de granos por vaina.

Polanía (2011) reportó que cuando las plantas son sometidas a condiciones de baja humedad, estas transportan con mayor eficiencia materia seca de la biomasa aérea de la planta y vaina, hacia el grano.

Con la lámina de 298 mm se produjeron los procesos fisiológicos en la planta que permitieron obtener un peso estadísticamente igual a las otras láminas de agua, por lo que, con esta cantidad de agua y su distribución adecuada a través de los intervalos de riego, se garantiza agua suficiente durante la floración y el llenado del grano.

4.2.4 Rendimiento de semilla (kg ha^{-1})

Peralta (2000) define al rendimiento como la expresión de las variables del componente del rendimiento, principalmente el número de vainas y el número de granos por vaina; las que dependen del número de flores por planta en la etapa fenológica R5, y de la influencia de factores ambientales.

El objetivo principal de la producción agrícola, es el rendimiento, siendo ésta la variable más relevante en los cultivos (Alvarado, 2000).

Considerando las necesidades antropogénicas, el proceso de multiplicación de semilla es la actividad que permite disponer de los volúmenes necesarios de este insumo, para asegurar los procesos productivos y contribuir a la seguridad alimentaria de cada región.

No se registraron diferencias estadísticas en el rendimiento; se asume que las cantidades de agua y los intervalos de aplicación permitieron un suministro constante de agua para el cultivo, sin ejercer influencia en los rendimientos. Se debe considerar la aplicación de 298 mm, debido a que es la menor cantidad de agua aplicada durante el ciclo del cultivo.

Aguilar-Benítez *et al.* (2012) establecen los efectos positivos en el rendimiento al reducir la cantidad de agua aplicada al sistema.

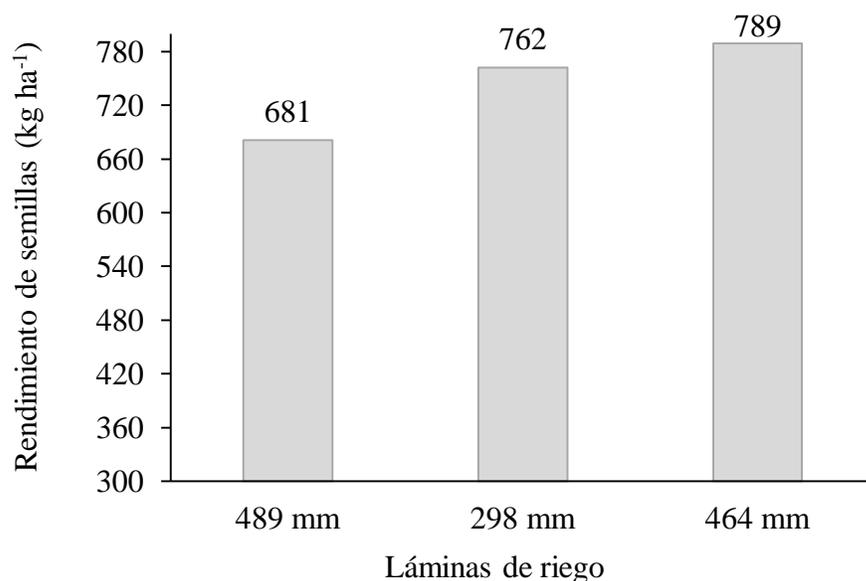


Figura 8. Rendimiento (kg ha⁻¹) de semilla según láminas de riego, La Compañía 2019.

IICA (2009) reporta rendimientos de semilla de 1 181.82 kg ha⁻¹ (26 qq mz⁻¹) en sistemas agrícolas con riego y con prácticas innovadoras en la fertilización y otras actividades de manejo e INTA (2019) informa de la obtención de rendimientos en la producción de semilla entre 1 272.73 y 1 500 kg ha⁻¹ (28 y 33 qq mz⁻¹).

La gestión adecuada del agua aplicada como riego en los sistemas de producción de semilla, es igualmente fundamental, como el cálculo de las necesidades hídricas.

La lámina de 298 mm representa un ahorro de agua en relación a la lámina de 489 mm igual a 39.06% y de 35.78% respecto a la lámina de 464 mm; si consideramos que el análisis indica que estadísticamente los rendimientos son iguales, la menor lámina de riego permite un mejor uso del agua y menor gasto de energía.

Aguirre y Gutiérrez (2018) mencionan que el frijol no tolera condiciones de anegamiento debido a la ausencia de oxígeno en el suelo, lo que ocasiona un efecto negativo en el sistema radicular, reduce el crecimiento y el rendimiento.

La lámina dos (298 mm), es la más próxima al valor reportado por López *et al.* (2011) quienes definieron una lámina de agua total de 314 mm como necesidad hídrica, cantidad aplicada con intervalos de riego de siete días durante el ciclo del cultivo.

El INTA (2009) determinó un requerimiento hídrico para el cultivo de frijol entre 200 y 400 mm de agua, con un incremento de 2.6 mm por día en la etapa de floración respecto a la cantidad de agua suministrada desde la siembra hasta la fase de pre floración. Barrera (2015) propuso intervalos de tres a cuatro días, con incremento en la fase reproductiva y con una lámina total de 300 mm durante todo el ciclo.

La distribución de los intervalos de riego afecta el rendimiento del cultivo cuando no se consideran las etapas fenológicas de mayor requerimiento hídrico (floración y llenado de vainas), así como las pérdidas por evapotranspiración, eficiencia del sistema y las características intrínsecas del suelo en función de la fertilidad global. González *et al.* (2017) definieron una lámina de riego en función de las fases fenológicas del frijol.

López *et al.* (2011) indican la relación en la reducción del rendimiento en función del agua consumida en la fase de floración-fructificación. Esta relación también es reportada por Fang *et al.* (2010) quienes añaden que el rendimiento también es afectado por la tolerancia del cultivar a condiciones de poca humedad, especialmente en la fase reproductiva. Estos argumentos permiten definir una mejor distribución del agua durante el ciclo del cultivo.

4.3 Análisis de productividad del agua (kg m³)

La productividad de agua está definida por Kijne, Barker y Molden (2003), como una medida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Yang *et al.* (2016) plantean la relación entre la cantidad de biomasa o de granos, en relación al agua

consumida por transpiración, evapotranspiración o total de agua aplicada al sistema. Considerando estas relaciones por el rol de la agricultura en cuanto a la gestión correcta del recurso hídrico.

González *et al.* (2014) definen que la productividad del agua es un indicador utilizado a fin de desarrollar estrategias de uso de los recursos hídricos, que permitan tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y empleo del recurso. Por su parte, Tornos *et al.* (2016) enfatizan en la importancia de la producción de semilla bajo sistemas de riego y el uso adecuado del agua, considerando que es un recurso escaso desde el punto de vista físico y económico, dada la reducción de éste para la producción agrícola.

Se obtuvo mayor productividad de agua utilizando la lámina de 298 mm, siendo la menor cantidad de agua aplicada al sistema. Cuando el valor de la relación entre el rendimiento y la lámina de agua aplicada es mayor, significa, que existe mayor productividad de agua.

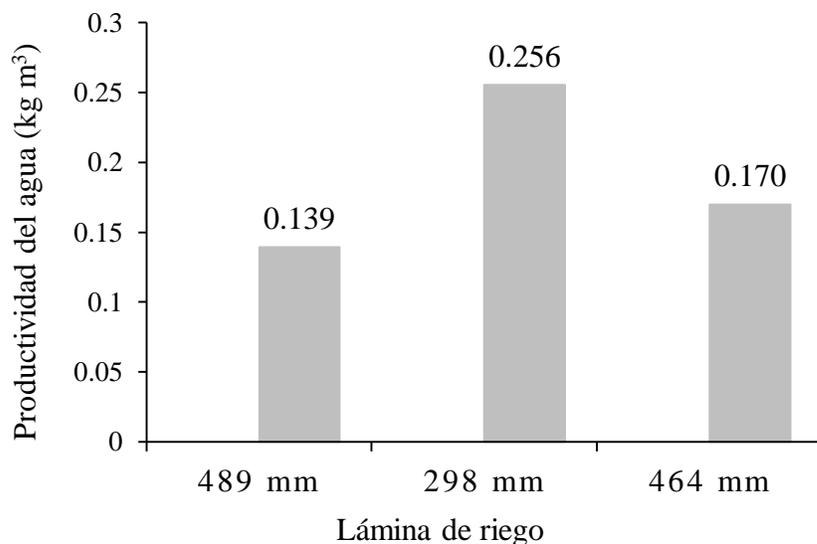


Figura 9. Productividad del agua según lámina de riego, La Compañía, 2019.

Estos datos están en correspondencia con Ríos *et al.* (2017), quienes determinaron un mayor indicador de productividad de agua igual a 0.133 kg m³, aplicando 750 mm (menor lámina de riego), en comparación con la lámina de 905 mm, que obtuvo un valor de 0.110 kg m³.

Se han propuesto diferentes indicadores de productividad del uso de agua para el frijol, sin embargo, esto depende de las características del sistema, del lugar (Ríos *et al.*, 2017), de las características de cada cultivar y de la eficiencia del sistema de riego utilizado.

Oweis y Hachum (2003) establecen que los indicadores de productividad de cereales y leguminosas son bajos y oscilan en un rango de 0.51 kg m³ y 0.61 kg m³, mientras que González *et al.* (2017) obtuvieron un índice de productividad igual a 0.22 kg m³ aplicando 484 mm, considerados como bajo en relación a los valores establecidos por González *et al.* (2014), entre 0.60 y 1.91 kg m³ con 306 mm como norma parcial de riego; estableciendo que, el principal factor que determina un menor rendimiento es el exceso de agua.

Rosales y Flores (2017) evidenciaron que, al aplicar mayor cantidad de agua, se obtienen los valores más bajos de productividad, estableciendo que las necesidades hídricas del frijol son bajas, al obtener mejor rendimiento utilizando menor cantidad de agua.

La lámina de 298 mm permite mayor productividad en el sistema agrícola respecto al uso de agua, así mismo, se obtienen los mejores resultados en cuanto a la altura de la planta de frijol y en el desarrollo de órganos reproductivos que favorecen la formación de granos y el llenado de vainas, evidenciando que la demanda hídrica del frijol es baja. La FAO (2003) reporta que mejorar la productividad de agua implica incrementar el rendimiento por área; siendo oportuno el uso de menor cantidad en el sistema de frijol, al no existir diferencias estadísticas en el rendimiento al aplicar mayor cantidad de agua.

V. CONCLUSIONES

Con la aplicación de la menor lámina de agua (298 mm), se obtiene mayor altura de planta, en cambio, el mayor número de hojas a los 39 días después de la siembra se registra con la aplicación de 489 mm.

Con la lámina de 298 mm las plantas de frijol producen mayor número de vainas por planta y mayor número de granos por vaina, sin embargo, no se registran diferencias en el peso de 1 000 semillas (g) y el rendimiento (kg ha^{-1}).

La mayor productividad del agua se obtiene utilizando 298 mm, correspondiente a la menor cantidad de agua aplicada al sistema, contribuyendo al ahorro y conservación del recurso hídrico.

VI. RECOMENDACIONES

Aplicar 298 mm como lámina de riego en la estación experimental La Compañía para la producción de semilla de frijol común, ya que se obtienen iguales rendimientos al compararlas con láminas mayores (464 y 489 mm), y permite un mejor uso y mayor productividad del recurso agua al reducirse el tiempo y la cantidad aplicada.

VII. LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, JA; Rosales-Serna, R; Navarrete-Maya, R y López-Salinas, E. 2000. Desarrollo de variedades de frijol para condiciones de riego y temporal en México. Rev. Fitotec. Mex. 26:79-98.
- Aguirre, JF; y Gutiérrez García, RA. 2018. Fertilización con biol y completo y su efecto en el rendimiento del cultivo del frijol común, El Plantel, Masaya, 2017. (en línea). Consultado el 22 de mar. 2020. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/3708/1/tnf04a284f.pdf>
- Aguilar-Benítez, G; Peña-Valdivia, C. B; García-Nava, JR; Ramírez-Vallejo, P; Benedicto-Valdés, SG y Molina-Galán, JD. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) en relación con la concentración de vermicom-post y déficit de humedad en el sustrato. Agrociencia,46(1): 37–50.
- Alvarado, N. 2000. La fertilización orgánica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y mejoramiento de 3 componentes de su sistema tradicional de producción. Managua, NI. 25 p.
- Arias, JH; Jaramillo, M y Rengifo, T. 2007. Manual Técnico. Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Frijol Voluble. CORPOICA - MANÁ - FAO. 168 p.
- Aschan, G; y Pfanz, H. 2003. Non-foliar photosynthesis-a strategy of additional carbon acquisition. Flora. 198(2):81-97.
- Assefa, T; Beebe, SE; Rao, IM; Cuasquer, JB; Duque, MC; Rivera, M; Battisti, A y Luchim, M. 2013. Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean. Field Crops Res. 148:24-33.
- Barrera R, NA. 2015. Sistema de riego del cultivo de frijol. (en línea). Consultado el 2 de ene. 2019. Disponible en <https://prezi.com>
- Barrios G, EJ; López, CC; Kohashi, SJ; Acosta G, JA; Miranda, CS. y Mayek, N. 2010. Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. Agrociencia, 44(4):481-489.
- Beebe S, IM; Rao C; y Cajiao G. 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. Crop Science, 48(2): 582-592.
- _____; González, AV y Rengifo, J. 2000. El estudio de los minerales en frijol común. Food and Nutrition Bulletin 2.

- Benavides, A; Ramírez, H; Robledo, V; Maiti, R; Cronejo, E; Hernández, J; Fuentes, L. 2002. Ecofisiología y Bio-química del estrés en planta. Disponible en <http://www.librosagronicos.blogspot.mx/>
- Bekele, S; y Tilahun, K. 2007. Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agric. Water Manage.* 89(1-2):148-152. Doi: 10.1016/j.agwat.2007.01.002
- Blessing Ruíz, DM; Hernández Morrison, GT. 2009. Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) var. NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la finca El Plantel, 2007-2008. Tesis de grado. (en línea). Consultado el 9 de nov. 2019. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/2090/1/tnf01b647.pdf>
- Cabrera, CA; Reyes C, CH. 2008. Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>
- Cabrera, M. 2011. Comportamiento de algunas variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones edafoclimáticas adversas. En: Libro Resumen. 5to Encuentro Internacional de Arroz. Ier Simposio de Granos. Libro Resumen. 5to Encuentro Internacional de Arroz. Ier Simposio de Granos. Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba del 6 al 11 de junio de 2011, pp. 112, La Habana, Cuba, 2011.
- Calderón M, RA. 2018. Rendimiento de grano de 16 genotipos biofortificados de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016. Tesis de pos grado. Disponible en <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf30c146r.pdf>
- Cejas Calderon, I. 2014. Semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) modelo para caracterizar los efectos de la crioconservación en la germinación, el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tesis de Doctorado. (en línea). Consultado el 13 de ene. 2020. Disponible en <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/3629/1/Semillas%20de%20frijol%20modelo%20para%20caracterizar%20efectos%20de%20crioconservaci%C3%B3n%20en%20germinaci%C3%B3n.pdf>
- De la Fé Montenegro, CF; Lamz P, A; Cardenas T, RM; Hernández P, J. 2016. Respuesta agronómica de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de reciente introducción en Cuba. *Cultivos Trópicos*, 37(2). (en línea). Consultado el 3 de nov. 2019. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000200012
- Dechmi, F.; Playan, J; Caverro, A; Martínez Cob y Faci, JM. 2004. Couple crop and solid set sprinkler simulation model. I: Model development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, 130(6):499-510.
- Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*. 31(1):74-85.

- Duarte Rivas, N. 2018. Comportamiento agronómico de 19 genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en seis ambientes bajo condiciones de sequía y suelos deficientes en fósforo, 2015-2016. Trabajo de graduación. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 68pp.
- Duarte, DC; Herrera, PJ; López, ST; González, RF y Zamora, HE. 2015. Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. Ingeniería Agrícola, 5(4): 46-51, 2015, ISSN: 2306-1545, 2227-8761.
- Escobar, H; Solís O, L; Contreras, D; Baginsky, C; Arenas, J; Silva, H. 2018. Efecto de la disponibilidad de agua de riego en el intercambio gaseoso, rendimiento de semillas, biomasa y eficiencia del uso del agua en dos fenotipos de chíá establecidos en el valle de Azapa, Arica, Chile. 43(1).
- Fang, X; Turner, NC; Yan, G; Li, F y Siddique K, HM. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. J. Exp. Bot. 61:335-345.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Incrementar la productividad del agua. (en línea). Consultado el 25 de feb. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp2.htm>
- _____. 2011. Sistemas de producción de frijol bajo riego. (en línea). Consultado el 13 de abr. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/507522/>
- Flores-Pachecho, JA; Lazo S, WJ; Méndes S, JJ. 2019. Necesidades hídricas del frijol (*Phaseolus vulgaris*) INTA Rojo en condiciones del trópico húmedo de Nicaragua. La Calera. 19(32):16-23.
- Fuentes Yagüe, JL. 2001. Iniciación a la botánica. (en línea). Consultado el 4 de nov. 2019. Disponible en <https://ebookcentral.proquest.com/lib/unicaraguasp/reader.action?ppg=52&docID=3175797&tm=1516655033208>
- González Cueto, O; Abreu-Ceballo, B; Herrera-Suárez, M; y López-Bravo, E. 2017. Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 26(1), 71-77. (en línea). Consultado el 10 de dic. 2019. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100009&lng=es&tlng=es
- González R, F; Herrera P, J; y López S, T. 2010. Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de la Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19(1):95-97.
- _____; Herrera, PJ; López, ST. y Cid, LG. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(4):21-27.

- González C, O; Abreu C, B; Herrera S, M; López B, E. 2017. Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. (en línea). San José de las Lajas. Consultado el 3 de abr. 2019. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100009
- Herrera, J; García, A; Cum, R; Rodríguez, MR; Pujol, R; Cid, G; Cisneros, E; Alemán, C y Roque, R. 2013. Uso eficiente de sistemas de riego. Manual práctico sobre el riego de los cultivos, Ed. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, MINAG, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-285-021-7.
- Holdridge, LR. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA. Colección de libros y materiales educativos N° 83. 216 p.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. En: MURPHY, B.T.; MURRAY, D. (Eds.), Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 588-596 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2009. Riego por goteo para producir semilla. (en línea). Consultado el 23 de mar. 2020. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3641e/b3641e.pdf>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2018. Departamento de estadística y meteorología. Managua, NI.
- _____. 2019. Departamento de estadística y meteorología. Managua, NI.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2009. Guía tecnológica del cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Segunda edición. Managua, NI. 32 p.
- _____. 2017. INTA Rojo Jinotega, variedad de frijol rojo con alto potencial productivo.
- _____. 2018. Catálogo de variadas criollas y acriolladas de frijol y maíz. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/wp-content/uploads/2019/11/Catalogo-Semillas-FAO-2018-FINAL-WEB.pdf>
- _____. 2019. Mejores prácticas de siembra y manejo para incrementar los rendimientos en el cultivo de frijol. (en línea). Consultado el 22 de mar. 2020. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/wp-content/uploads/2019/05/PR%C3%81CTICAS-PARA-INCREMENTO-DE-FRIJOL.pdf>
- _____; Estación Experimental La Compañía. 2019. Plan de manejo de áreas de producción de semilla de frijol común. San Marcos, NI.
- NDJ (Naan Dan Jain). 2013. Aspersores. (en línea). Consultado el 26 de mar. 2020. Disponible en http://es.naandanjain.com/uploads/catalogerfiles/000-Spanish/Sprinklers/Sprinklers%20Booklet/NDJ_Sprinklers_span_021013F.pdf

- Joya, E y Leiva, Z. 2006. Evaluación preliminar de 36 genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en la época de postrera en la comunidad de Mancico, Somoto. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 28 p.
- Kijne, J. W., Barker, R. y Molden, D. 2003. Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement. Colombo: International Water Management Institute.
- Lépiz, IR; Alcocer, L; Jesús, J; González, S; Jesús, J; Santacruz-Ruvalcaba, F; Nuño, RR. y Rodríguez, GE. 2010. Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. Revista Fitotecnia Mexicana, 33(1):21-28.
- López, T; Herrera, J; González, F y Cid, G. 2011. Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica. Ingeniería Agrícola, 1(2):41-47. ISSN: 2227-8761.
- Losada, A. 2005. El riego. Fundamentos de su hidrología y de su práctica. Madrid, España.
- Luna-Flores, W; Estrada-Medina, H; Jiménez-Osornio, JM y Pinzón López, LL. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. Terra Latinoamericana, 30(4):343-353.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2018. Encuestas de producción por ciclo Ministerio de Agricultura y Ganadería y Banco Central de Nicaragua. Managua, Nicaragua. 174 p.
- MAG, MARENA, UNA, INAFOR, INETER (Ministerio Agropecuario, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional Agraria, Instituto Nacional Forestal, Instituto de Estudios Territoriales). 2015. Atlas de suelos de Nicaragua.
- Martínez, JP; Silva H; Ledent, JF y Pinto, M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). European Journal of Agronomy 26:30-38
- Meriño, Y; Boudet, A; Boicet, T; Barreiro, E; Palacio, A y Oduardo, R. 2015. Rendimiento y tolerancia a la sequía de seis variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo. Centro Agrícola, 42(1):69-74.
- Núñez, BA; Hoogenboom, G y Nesmith, DS. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. Piracicaba, Brazil. Sci. Agric. 62(1):18-22.
- Ortiz Romero, JS; Miranda, HA; y Peroza, D. 2012. Distribución del agua bajo riego y su efecto sobre el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista científica UDO Agrícola, 12(1):106-116.

- Oweis, TY y Hachum, AY. 2003. Improving water productivity in the dry areas of west Asia and North Africa, en J. W. Kijne R. Barker y D. Molden (eds.), Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement (pp.179-198). Colombo: International Water Management Institute.
- Pascual E, B. 2007. Riegos de gravedad y a presión. Editorial de la UPV. 373 p.
- Peña V, CB; Aguirre, RR. y Arroyo P., VB. 2012. El frijol silvestre. Síndrome de domesticación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. 206 p.
- Peralta, M. A. 2000. Influencia de períodos de control de malezas sobre el crecimiento y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) var. DOR-364. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 31 p.
- Polanía JA. 2011. Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común *Phaseolus vulgaris* L. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. (en línea). Consultado el 4 de nov. 2019. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/6663/1/josearnulfopolaniaperdomo.2011.pdf>
- _____; Rao, IM; Mejía, S; Beebe, SE y Cajiao, C. 2012. Características morfofisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. Acta Agronómica, 61(3). (en línea). Consultado el 3 de nov. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169925865001>
- Polón P, R; Miranda C, A; Ramírez A, MA; Maqueira L, LA. 2014. Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(4):33-36.
- Polón Pérez, R; Miranda Caballero, A; Ramírez Arrebató, MA; y Maqueira López, LA. 2014. Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(4), 33-36. (en línea). Consultado el 10 de dic. 2019. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400006&lng=es&tlng=es
- PPCC (Plan de Producción, Consumo y Comercio). 2018. Plan de Producción, Consumo y Comercio ciclo 2017-2018. (en línea). Consultado el 29 de mar. 2019. Disponible en <https://www.bcn.gob.ni/publicidad/img/landscape/Plan%20de%20Producci%C3%B3n%20Consumo%20y%20Comercio%20Ciclo%202017%202018.pdf>
- Ríos Flores, JL; Torres Morenos, M; Torres Moreno, MA y Cantú Brito, JE. 2017. Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. Ciencia Ergo Sum, 24(2). (en línea). Consultado el 15 de ene. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491007/html/index.html>

- Ríos, MJ y Quirós, DJ. 2002. El Fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.): Cultivo, beneficio y variedades. Boletín Técnico. FENALCE. Bogotá. 193 pp.
- Romero F, CS; López, CC; Miranda, CS; Kohashi, SJ; Aguilar R, VH y Martínez R, CG. 2015. Variabilidad del rendimiento de semilla y sus componentes en frijol común bajo condiciones de temporal. *Cienc. Agríc. Informa.* 24(1):7-17.
- Roque A, IC. 2001. Diagnóstico sobre producción; manejo y calidad de la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) en cuatro localidades de Nicaragua. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. 38 p.
- Rosales S, R; Flores G, H. 2017. Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango. (en línea). Consultado el 10 de feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/323510747_IMPORTANCIA_DEL_AGUA_DE_RIEGO_PARA_LA_PRODUCCION_SOSTENIBLE_DE_FRIJOL_EN_DURANGO
- Rosas, J. 2003. Recomendaciones para el Manejo Agronómico del Cultivo del Frijol. Programa de Investigaciones en el Frijol. Zamorano, Tegucigalpa. 33 p.
- Sánchez, AM; Azcárate, FM; Arqueros, L; Begoña, P. 2002. Volumen y dimensiones como predictores de semillas de especies herbáceas del centro de la península Ibérica. *Anales Jardín Botánico, Madrid.* 59(2):249-262.
- Silva C, PD; Bastos S, TC; Passos L, AB; Bastos S, YJ. y da Silva, JA. 2011. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. *Revista Ciência Agrônoma*, 42(1):132–138. ISSN 1806-6690.
- Singh, B. y Singh, G. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 55:209-219.
- Solís E, A.J. 2015. Análisis económico del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Nicaragua, 1980-2014. (Tesis de grado). Consultado el 10 de feb. 2020. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/3622/1/tne10s687.pdf>
- Somarriba, R. 1998. Granos básicos. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 195 p.
- Taiz, L; y Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. Co-lecció Ciències experimentals Núm. V. 1. 580 p.
- Tornes O, N; Brown M, O; Gómez M, Y; Guerrero A, AM. 2016. Maximización física y económica del agua de riego en la producción del cultivo del frijol. 25(2):35-38.
- Turn-Bull, LA; Rees, M y Crawley, MY. 1999. Seed mass and the competition /colonization trade off a sowing experiment. *J. Ecol.* 87:899.912.

UNA- LABSA (Universidad Nacional Agraria; Laboratorio de Suelos y Agua, NI). 2011. Metodologías para muestreo de suelos para análisis físico y químico. Managua, NI.

_____. 2019. Resultados de análisis granulométrico y químico de suelo. Managua, NI.

Valle Hernández, OA. 2013. Efecto de la fertilización orgánica y sintética sobre el rendimiento de grano de tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), El Rincón, Darío-Matagalpa, primera, 2010. Tesis de grado. (en línea). Consultado el 3 de nov. 2019. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/2178/1/tnf04v181.pdf>

Yang, Y; Guan, H; Batelaan, O; McVicar, TR; Long, D; Piao, S; Liang, W; Liu, B; Jin, Z; y Simmons, CT. 2016. Contrasting responses of water use efficiency to drought across global terrestrial ecosystems. *Sci. Rep.* 6: 23284.

Zilio, M; Medeiros C, CM; Arruda, SC; Pires S, JC. y Miquelluti, DJ. 2011. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencia Agronômica*, 42(2):429-438. ISSN 1806-6690.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones del método de niveles de humedad

1. $L_n: 100 \times \Delta H \times D_a$ (CC-PMP)

Donde:

L_n : Lámina neta (mm)

ΔH : Profundidad de la capa activa

D_a : Densidad aparente

CC: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitez permanente

2. $L_b: L_n / E_o$

Donde:

L_b : Lámina bruta

L_n : Lámina neta

E_o : Eficiencia del sistema

3. $I_a: Q \text{ aspersor} / \text{Área de aspersores}$

Donde:

I_a : Intensidad de aplicación

Q : Caudal

4. $T_r: L_b / I_a$

Donde:

T_r : Tiempo de riego

L_b : Lámina bruta

I_a : Intensidad de aplicación

5. $I_r: L_b / E_v$

Donde:

I_r : Intervalo de riego

L_b : Lámina bruta

E_v : Evapotranspiración

Anexo 2. Evapotranspiración por decenas 2009-2018, estación meteorológica Campos Azules, INETER (2018)

Categoría	2009				2010			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
	6.12	8.05	9.19	8.21	5.85	6.97	8.62	8.66
	5.78	7.49	8.72	9.95	6.85	8.11	9.07	7.99
	7.43	7.73	8.57	8.42	6.76	6.36	9.35	6.16
Suma	200.70	217.20	273.40	265.80	201.40	201.70	279.80	228.10
Media	6.50	7.80	8.80	8.90	6.50	7.20	9.00	7.60
Max	9.30	11.60	12.30	12.30	10.50	10.40	11.50	11.50
Min	3.80	5.40	5.40	4.50	3.80	4.40	6.40	3.10

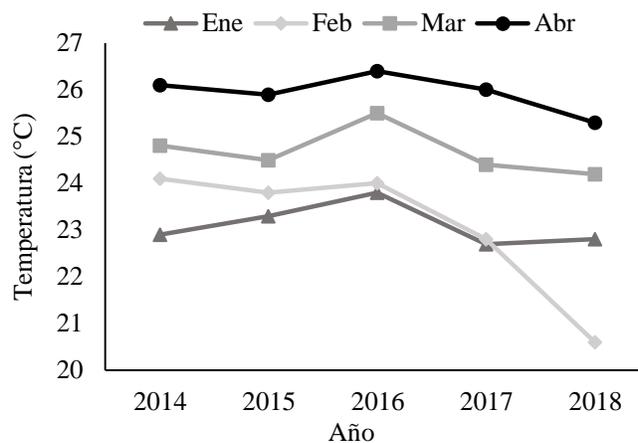
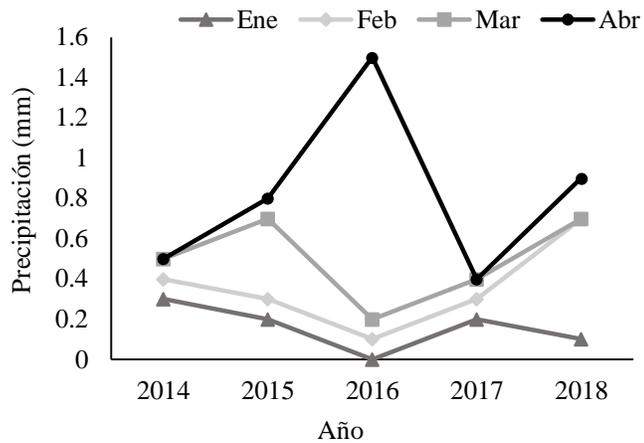
Categoría	2011				2012			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
	5.37	7.04	8.69	8.62	5.50	5.82	8.95	7.99
	6.17	9.07	8.77	9.52	5.03	7.05	9.30	8.54
	5.92	7.79	8.99	8.62	5.19	7.70	9.27	8.05
Suma	180.50	223.40	273.50	267.60	162.40	198.00	284.50	245.80
Media	5.80	8.00	8.80	8.90	5.20	6.80	9.20	8.20
Max	8.10	10.8	12.10	12.10	9.00	10.20	11.50	11.30
Min	4.10	4.90	7.20	6.00	2.70	3.40	6.20	5.30

Categoría	2013				2014			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
	5.31	7.55	9.23	9.22	4.54	6.48	8.15	9.08
	6.08	7.36	8.64	8.60	5.99	7.21	8.30	9.32
	7.17	7.93	8.23	8.77	5.97	7.74	9.22	8.24
Suma	192.80	212.50	269.20	265.90	171.00	198.80	265.90	266.40
Media	6.20	7.60	8.70	8.90	5.52	7.10	8.58	8.88
Max	8.70	10.00	12.70	11.70	9.00	9.70	12.10	11.60
Min	3.20	4.30	4.30	5.30	3.40	3.80	6.00	6.20

Categoría	2015				2016			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
	5.80	6.58	8.15	9.92	6.00	9.07	8.50	9.23
	5.84	7.83	9.09	9.32	5.87	8.56	9.75	11.29
	6.95	8.30	9.31	7.76	7.40	8.84	10.33	8.34
Suma	192.80	210.50	274.80	270.00	58.70	255.90	296.10	288.60
Media	6.22	7.26	8.86	9.00	6.45	8.82	9.55	9.62
Max	9.00	11.60	11.00	11.90	9.60	10.90	13.70	14.90
Min	3.40	0.00	6.80	2.60	3.80	4.90	7.70	4.50

Categoría	2017				2018			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
	6.04	7.83	9.25	10.05	5.97	5.48	7.96	8.76
	5.98	8.27	8.99	9.79	6.81	6.61	7.44	9.17
	6.39	8.10	9.91	7.87	6.23	6.03	9.17	8.79
Suma	190.50	225.80	291.4	277.10	196.30	169.10	254.90	267.20
Media	6.15	7.79	9.40	9.24	6.33	5.45	8.50	8.91
Max	8.80	11.50	13.20	13.20	9.50	9.50	12.50	12.90
Min	3.90	0	5.50	5.60	4.40	0	3.80	4.80

Anexo 3. Temperaturas (°C) y precipitaciones en La Compañía durante el período 2014–2018



Anexo 4. Procedimiento de la activación de herramienta para análisis estadísticos en Excel

Paso 1
Abrir

Recientes

OneDrive - Universidad roberto.larios@ci.una.ec

Sitios: Universidad roberto.larios@ci.una.ec

OneDrive

Este PC

Agregar un sitio

Examinar

Paso 2

General

Fórmulas

Revisión

Guardar

Idioma

Avanzadas

Personalizar cinta de opciones

Barra de herramientas de acceso rápido

Complementos

Centro de confianza

Veja y administre los complementos de Microsoft Office.

Nombre	Ubicación	Tipo
Complementos de aplicación activos		
Herramientas para análisis	C:\...LYS32.XLL	Complemento de Excel
Nitro PDF	C:\...laddin9.dll	Complemento COM
Complementos de aplicación desactivados		
Herramientas para análisis - VBA	C:\...AEN.XLAM	Complemento de Excel
Herramientas para el euro	C:\...OL.XLAM	Complemento de Excel
Inquire	C:\...iveShim.dll	Complemento COM
Microsoft Actions Pane 3		Paquete de expansión XML
Microsoft Power Map for Excel	C:\...SHELL.DLL	Complemento COM
Microsoft Power Pivot for Excel	C:\...tAddin.dll	Complemento COM
Microsoft Power View for Excel	C:\...elClient.dll	Complemento COM
Solver	C:\...VER.XLAM	Complemento de Excel
Complementos relacionados con documentos		
Complementos no relacionadas con documentos		
Complementos de aplicaciones deshabilitadas		
Complemento:	Herramientas para análisis - VBA	
Editor:		
Compatibilidad:	No hay información disponible sobre compatibilidad	
Ubicación:	C:\Program Files (x86)\Microsoft Office\Office16\Library\Analysis\ATPVBAEN.XLAM	
Descripción:	Herramientas para análisis - VBA	

Administrar: Complementos de Excel **Ir...**

Paso 3

Complementos disponibles:

- Herramientas para análisis**
- Herramientas para análisis - VBA
- Herramientas para el euro
- Solver

Aceptar

Cancelar

Examinar...

Automatización...

Paso 4

Libro1 - Excel

Datos Revisar Vista Nitro Pro 9 ¿Qué desea hacer?

Conexiones

Propiedades

Editar vínculos

Ordenar y filtrar

Herramientas de datos

Previsión

Esquema

Análisis de datos

Herramientas de análisis de datos científicos y financieros

Más información

Paso 5

Datos Revisar Vista Nitro Pro 9 ¿Qué desea hacer?

Conexiones

Propiedades

Editar vínculos

Ordenar y filtrar

Herramientas de datos

Previsión

Esquema

Análisis de datos

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
			15 DE ABRIL									Humedad inicial	
	1.2 m ²		Número de granos por planta									Lámina 1	
H° F	PF	PI 100 S	P F 100 S	P 1000 S	R kg ha ⁻¹	qq MZ ⁻¹		Sitio	1	2	3	X	
14	60.69	23.4	24.21										
14	58.55	24.1	24.67										
14	72.02	20.4	20.56										
14	73.07	20.5	20.77										
14	68.55	20.4	19.25										
14	92.16	20.5	20.91										
14	95.99	22.5	22.38										
14	68.39	20.3	19.89										
14	106.41	20.3	19.81										
14	120.84	24.2	22.99										

Análisis de datos

Funciones para análisis

- Histograma
- Media móvil
- Generación de números aleatorios
- Jerarquía y percentil
- Regresión
- Muestra
- Prueba t para medias de dos muestras empíricas**
- Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales
- Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales
- Prueba z para medias de dos muestras

Aceptar

Cancelar

Ayuda

Anexo 5. Programación de aplicación de lámina de riego uno (489 mm)

Riego	Fecha	Riego	Fecha
1	13 febrero 2019	13	9 marzo 2019
2	15 febrero 2019	14	11 marzo 2019
3	17 febrero 2019	15	13 marzo 2019
4	19 febrero 2019	16	15 marzo 2019
5	21 febrero 2019	17	17 marzo 2019
6	23 febrero 2019	18	19 marzo 2019
7	25 febrero 2019	19	21 marzo 2019
8	27 febrero 2019	20	23 marzo 2019
9	1 marzo 2019	21	25 marzo 2019
10	3 marzo 2019	22	27 marzo 2019
11	5 marzo 2019	23	29 marzo 2019
12	7 marzo 2019	24	31 marzo 2019
Total	489 mm-24 riegos		

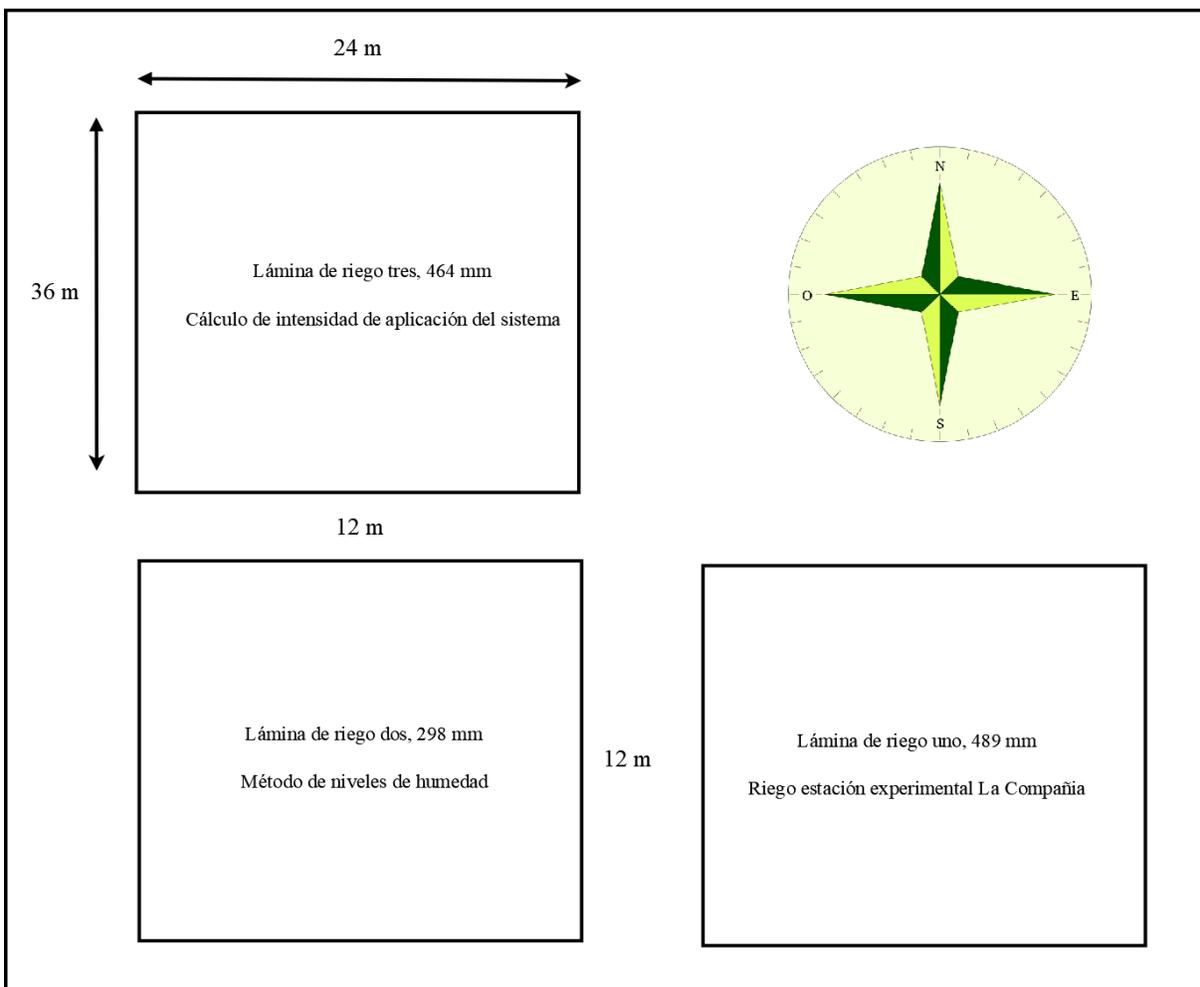
Anexo 6. Programación de aplicación de lámina de riego dos (298 mm)

Riego	Fecha	Riego	Fecha
1	13 febrero 2019	11	13 marzo 2019
2	15 febrero 2019	12	15 marzo 2019
3	17 febrero 2019	13	17 marzo 2019
4	19 febrero 2019	14	19 marzo 2019
5	21 febrero 2019	15	21 marzo 2019
6	23 febrero 2019	16	23 marzo 2019
7	25 febrero 2019	17	25 marzo 2019
8	5 febrero 2019	18	27 marzo 2019
9	9 febrero 2019	19	29 marzo 2019
10	11 febrero 2019	20	31 marzo 2019
Total	298 mm-20 riegos		

Anexo 7. Programación de aplicación de lámina de riego tres (464 mm)

Riego	Fecha	Riego	Fecha
1	13 febrero 2019	9	09 marzo 2019
2	15 febrero 2019	10	12 marzo 2019
3	17 febrero 2019	11	15 marzo 2019
4	19 febrero 2019	12	18 marzo 2019
5	21 febrero 2019	13	21 marzo 2019
6	23 febrero 2019	14	24 marzo 2019
7	25 febrero 2019	15	27 marzo 2019
8	05 marzo 2019	16	30 marzo 2019
Total	464 mm-16 riegos		

Anexo 8. Plano de campo



Anexo 9. Registro de datos de variables del rendimiento



Anexo 10. Procedimiento para el cálculo de la productividad de agua, según la metodología de González, Herrera y López (2010)

1. Conversión de láminas de riego de mm a m³ ha⁻¹

Lámina uno: 489 mm x 10 = 4 890 m³ ha⁻¹

Lámina dos: 298 mm x 10 = 2 980 m³ ha⁻¹

Lámina tres: 464 mm x 10 = 4 640 m³ ha⁻¹

2. Cálculo de productividad de agua

$$W_p = R / I$$

Donde:

W_p: Productividad del agua aplicada por riego (kg m³)

R: Rendimiento (kg ha⁻¹)

I: Lámina de agua aplicada (mm)

$$W_p \text{ lámina 1 (298 mm)} = 681 \text{ kg ha}^{-1} / 4\,890 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 0.1392 \text{ kg m}^3$$

$$W_p \text{ lámina 2 (489 mm)} = 762 \text{ kg ha}^{-1} / 2\,980 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 0.2557 \text{ kg m}^3$$

$$W_p \text{ lámina 3 (464 mm)} = 789 \text{ kg ha}^{-1} / 4\,640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 0.1700 \text{ kg m}^3$$



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*