

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



Inducción de resistencia al estrés hídrico con ácido salicílico en frijol común (*Phaseolus vulgaris*), bajo riego deficitario controlado.

POR:

NACXIT ALEJANDRO HERNÁNDEZ SALAS

San Salvador, Ciudad Universitaria, Mayo de 2022

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL**



**Inducción de resistencia al estrés hídrico con ácido salicílico en frijol común
(*Phaseolus vulgaris*), bajo riego deficitario controlado.**

POR:

NACXIT ALEJANDRO HERNÁNDEZ SALAS

**REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

San Salvador, Ciudad Universitaria, Mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS.

DECANO:

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

Ing. Agr. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL

Ing. Agr. MSc. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES

DOCENTE DIRECTOR

Ing. Agr. MSc. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

Ing. Agr. MSc. RAFAEL ANTONIO MENJÍVAR ROSA

RESUMEN

Con el propósito de inducir resistencia al estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Se realizó un experimento en el invernadero y laboratorio número tres del Departamento de Protección Vegetal, el cual tuvo una duración de 6 meses comprendidos desde el mes de septiembre del año 2021 hasta el mes de marzo del año 2022. En dicho experimento se evaluó el efecto del ácido salicílico (AS), bajo condiciones de riego deficitario controlado (RDC) a 25 y 40% de reducción de los requerimientos hídricos del cultivo. Se realizó dos aspersiones de ácido salicílico (AS) a concentraciones de 25, 50, 75 y 100 ppm, 37 días después de la siembra, durante la etapa de floración (Etapa R6) con un intervalo de 7 días entre cada una de ellas. Para la evaluación se estableció dos experimentos bajo un diseño completamente al azar, constituidos por 5 tratamientos y diez repeticiones; ambos, con déficits hídricos del 25 y 40 % respectivamente. Las variables evaluadas en cada uno de los experimentos fueron: Rendimiento por tratamiento, número de vainas por tratamiento, diámetro de cuello de raíz y humedad parcial por tratamiento. Dentro de las cuales únicamente las variables número de semillas por tratamiento y diámetro de cuello de raíz mostraron diferencias significativas. Para la variable número de semillas por tratamiento se reportó diferencias significativas únicamente para el experimento A y no así para el experimento B, las plantas del tratamiento con solución de ácido salicílico (AS) a 100 ppm y un riego deficitario controlado (RDC) de 171 mm fueron las que produjeron el mayor número de semillas con un promedio de 26.7 semillas por unidad experimental, ubicándose así por encima de los demás tratamientos. Para la variable diámetro de cuello de raíz se reportó diferencias significativas únicamente para el experimento B y no así para el experimento A. Las plantas del tratamiento testigo a las cuales únicamente se les aplicó un riego deficitario controlado de 134.66 mm de agua fueron las que produjeron el mayor diámetro de cuello de raíz con un promedio de 3.23 mm.pl⁻¹ ubicándose por encima de los demás tratamientos. En base al análisis de presupuesto parcial se pudo observar que el tratamiento 4 del experimento A obtuvo el mejor beneficio neto, lo que indica que a una concentración del 100 ppm bajo condiciones de estrés hídrico menores o iguales al 25% el beneficio se incrementa en \$200.20. Para el caso del experimento B el tratamiento que obtuvo el mejor beneficio neto fue el tratamiento 1, indicando así que a una concentración de 25 ppm en valores menores o iguales al 40% de estrés hídrico el beneficio se incrementa en \$137.67, ambos con respecto al testigo.

ABSTRACT

With the purpose of inducing resistance to water stress in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). An experiment was carried out in the greenhouse and laboratory number three of the Plant Protection Department, which lasted 6 months from September 2021 to March 2022. In said experiment, the effect of salicylic acid (AS), under controlled deficit irrigation (RDC) conditions at 25 and 40% reduction of the water requirements of the crop. Two sprays of salicylic acid (SA) were carried out at concentrations of 25, 50, 75 and 100 ppm, 37 days after sowing, during the flowering stage (Stage R6) with an interval of 7 days between each one. For the evaluation, two experiments were established under a completely randomized design, consisting of 5 treatments and ten repetitions; both, with water deficits of 25 and 40% respectively. The variables evaluated in each of the experiments were: Yield per treatment, number of pods per treatment, root neck diameter and partial moisture per treatment. Within which only the variables number of seeds per treatment and root neck diameter showed significant differences. For the variable number of seeds per treatment, significant differences were reported only for experiment A and not for experiment B, the treatment plants with salicylic acid solution (AS) at 100 ppm and a controlled deficit irrigation (RDC) of 171 mm were the ones that produced the highest number of seeds with an average of 26.7 seeds per experimental unit, thus placing themselves above the other treatments. For the root neck diameter variable, significant differences were reported only for experiment B and not for experiment A. The control treatment plants to which only a controlled deficit irrigation of 134.66 mm of water was applied were the ones that produced the largest root neck diameter with an average of 3.23, placing it above the other treatments. Based on the partial budget analysis, it was observed that treatment 4 of experiment A obtained the best net benefit, which indicates that at a concentration of 100 ppm under water stress conditions less than or equal to 25%, the benefit increases by \$200.20. In the case of experiment B, the treatment that obtained the best net benefit was treatment 1, thus indicating that at a concentration of 25 ppm in values less than or equal to 40% water stress, the benefit is increased by \$137.67, both with respect to the control. .

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A Dios por guiarme y protegerme.
- ❖ A mis padres, familiares y amigos por su apoyo incondicional durante este proceso de formación académica y por haber creído en mí.
- ❖ Al Ing. Agr. MSc. Andrés Wilfredo Rivas Flores por su paciencia, asesoría y consejos tanto para mi crecimiento personal como para el desarrollo de esta investigación.
- ❖ Al Ing. Agr. MSc. Rafael Antonio Menjívar Rosa por su apoyo en la identificación de insectos plaga dentro de esta investigación y por formar parte del tribunal evaluador de esta investigación.
- ❖ Al Ing. Agr. MSc. Ricardo Ernesto Gómez Orellana por su asesoría y apoyo como parte del tribunal evaluador de esta investigación.
- ❖ Al Lic. Mvz. Juan Antonio Aguirre Sandoval por su colaboración y logística en la toma de datos de esta investigación dentro del laboratorio de investigación y diagnóstico del Departamento de Protección Vegetal.
- ❖ Al Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA) por su apoyo en la donación del material vegetal utilizado en esta investigación.
- ❖ A la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y docentes en general por haberme brindado de las herramientas y conocimientos necesarios para lograr culminar mi formación académica y prepararme para la vida profesional como Ing. Agrónomo.

DEDICATORIA

- ❖ A Dios por otorgarme la sabiduría, paciencia y perseverancia necesaria para lograr mis objetivos.
- ❖ A mi padre Julio Ernesto Hernández Salazar y a mi madre Jessica Paola Juárez Rodríguez, por darme su amor, comprensión y paciencia y a quienes les debo todo y, que gracias a ellos y a sus esfuerzos incansables me encuentro en este momento culminando esta meta.
- ❖ A mis hermanas Andrea Jerusalém Hernández Juárez y Ariadna Nerea Hernández Juárez por cuidarme y estar al pendiente de mí siempre.
- ❖ A mis tías Irma Lidia Salazar y Guadalupe Judith Salazar por el apoyo, amor y comprensión que ellas me han brindado incondicionalmente a lo largo de mi vida.
- ❖ A mi padrino Romeo Arturo Aquino Girón y familia, quienes con mucho amor me apoyaron y me brindaron de un cálido hogar siempre que lo necesite durante mi formación académica.
- ❖ A Wilber Vladimir Serrano Peraza por su amistad desde el primer día de clases en esta carrera y por su apoyo incondicional en cada momento.
- ❖ A Alma Alejandra Aguilar Pacheco por sus consejos, recomendaciones y apoyo moral a lo largo de este proceso.
- ❖ A mis amigos quienes me brindaron su apoyo y amistad a lo largo de esta carrera y con quienes pude compartir momentos inolvidables.

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUCCION	1
2 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	2
2.1 Generalidades del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris)	2
2.1.1 Origen y distribución de frijol.....	2
2.1.2 Taxonomía de frijol.....	3
2.1.3 Morfología de la planta de frijol.....	3
2.1.4 Hábitos de crecimiento	4
2.1.5 Crecimiento determinado	4
2.1.6 Crecimiento indeterminado	4
2.2 Etapas de desarrollo.....	5
2.2.1 Fase vegetativa.....	5
2.2.2 Fase reproductiva.....	6
2.3 Importancia económica y social del cultivo de frijol.....	7
2.3.1 Importancia económica.....	7
2.3.2 Importancia social	7
2.4 Requerimientos climáticos del frijol.....	7
2.5 Factores económicos del cultivo de frijol.....	8
2.5.1 Países productores de frijol a nivel mundial	8
2.5.2 Rendimiento a nivel mundial	9
2.5.3 Producción de frijol a nivel mundial.....	9
2.5.4 Producción de frijol a nivel regional.....	10
2.5.5 Consumo per cápita	10
2.5.6 Productores de grano en el país.....	10
2.5.7 Productores de semilla de frijol en El Salvador	10
2.5.8 Importación de frijol.....	11
2.5.9 Exportación de frijol	11
2.6 Propiedades bromatológicas del frijol (x100 g)	12
2.7 Manejo agronómico del cultivo de frijol	12
2.7.1 Época de siembra en El Salvador.....	12

2.7.2	Sistemas de siembra del frijol	12
2.7.3	Manejo de malezas	13
2.7.4	Fertilización	13
2.7.5	Manejo de plagas de frijol.....	14
2.7.6	Manejo de enfermedades de frijol.....	14
2.8	Problema de sequía en El Salvador	14
2.8.1	Efecto de la sequía en la producción agrícola de frijol en El Salvador	14
2.9	Ácido salicílico (AS).....	14
2.9.1	Origen del ácido salicílico (AS).....	14
2.9.2	Composición del ácido salicílico (AS).....	15
2.9.3	Papel del ácido salicílico (AS) en las plantas	15
2.9.4	Respuesta de las plantas al estrés biótico y abiótico	15
2.10	Tipos de resistencia mediada por el ácido salicílico (AS)	16
2.10.1	Resistencia sistémica adquirida (RSA).....	16
2.11	Biosíntesis y degradación del ácido salicílico (AS).....	16
2.12	Ácido salicílico (AS) y el daño oxidativo	17
2.13	Aplicación de ácido salicílico (AS).....	17
3	Materiales y métodos	19
3.1	METODOLOGIA DE CAMPO	19
3.1.1	Descripción del lugar de estudio	19
3.1.2	Duración de la investigación	19
3.1.3	Preparación del área experimental.....	19
3.1.4	Delimitación del área experimental.....	20
3.1.5	Material utilizado para la siembra	20
3.1.6	Llenado de depósitos	21
3.1.7	Siembra	21
3.1.8	Riego deficitario controlado (RDC).....	21
3.1.9	Fertilización	22
3.1.10	Manejo de malezas	22
3.1.11	Manejo de plagas y enfermedades	23
3.1.12	Cosecha y secado	23
3.1.13	Almacenamiento de la semilla.	23
3.2	METODOLOGIA DE LABORATORIO.....	23

3.2.1	Prueba de germinación	23
3.2.2	Elaboración de soluciones de ácido salicílico (AS).	24
3.2.3	Aplicación de ácido salicílico (AS).....	24
3.3	METODOLOGIA ESTADISTICA	24
3.3.1	Diseño experimental	24
3.3.2	Tratamientos	24
3.3.3	Análisis de datos.....	25
3.4	VARIABLES EVALUADAS.....	25
3.5	Descripción de variables evaluadas	26
3.5.1	Rendimiento por tratamiento (g/tratamiento).....	26
3.5.2	Número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento)	26
3.5.3	Número de semillas por tratamiento (nº semillas/tratamiento).....	26
3.5.4	Peso de 25 semillas (g)	26
3.5.5	Número de flores por tratamiento (flores/tratamiento)	26
3.5.6	Diámetro de cuello de raíz (mm).....	27
3.5.7	Humedad parcial por tratamiento (%)	27
4	METODOLOGIA ECONOMICA	27
4.1	Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una manzana)	27
5	RESULTADOS Y DISCUSION.....	28
5.1	Prueba de germinación	28
5.2	Riego deficitario	28
5.3	Manejo de plagas y enfermedades	28
5.4	Rendimiento por tratamiento (g).....	29
5.5	Número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento)	30
5.6	Número de semillas por tratamiento (nº semillas/tratamiento).....	31
5.7	Peso de 25 semillas	32
5.8	Número de flores por tratamiento (nº flores/tratamiento).	33
5.9	Diámetro de cuello de raíz (mm).....	34
5.10	Humedad parcial por tratamiento (%)	35
5.11	Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una hectárea).....	36
6	CONCLUSIONES	38
7	RECOMENDACIONES	39
8	BIBLIOGRAFIAS	40

9	ANEXOS	47
9.1	Cálculo de numero de semillas a sembrar según % de germinación.	57
9.2	Cálculo de volumen de suelo franco arenoso para llenado de depósitos plásticos.	57
9.3	Preparación de diluciones de Ácido salicílico (AS).	58

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación taxonómica del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	3
Cuadro 2.	Características agronómicas de la variedad CENTA Sequia.	20
Cuadro 3.	Déficit hídrico aplicado para el experimento A (Reducción del 25%).....	21
Cuadro 4.	Déficit hídrico aplicado para el experimento B (Reducción del 40%).....	22
Cuadro 5.	Distribución del diseño experimental.	24
Cuadro 6.	Descripción de tratamientos para experimento A.....	25
Cuadro 7.	Descripción de tratamientos para experimento B.....	25
Cuadro 8.	Control de riego para los experimentos A y B.....	28
Cuadro 9.	Cuadro resumen de plagas y enfermedades detectadas.....	29
Cuadro 10.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable rendimiento por tratamiento.....	30
Cuadro 11.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de vainas por tratamiento. ...	31
Cuadro 12.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de semillas por tratamiento. ...	32
Cuadro 13.	Peso promedio de 25 semillas (g)	33
Cuadro 14.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de flores por tratamiento.	34
Cuadro 15.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable diámetro de cuello de raíz (mm)	35
Cuadro 16.	Análisis de varianza (ANVA) para la variable humedad parcial por tratamiento (%) ...	36
Cuadro 17.	Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una manzana).	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Hallazgos arqueológicos del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	2
Figura 2.	Países productores de frijol a nivel mundial.	8
Figura 3.	Rendimiento de frijol a nivel mundial (T/Ha).....	9
Figura 4.	Importación de frijol (Ton).	11
Figura 5.	Exportación de frijol (Ton).....	11
Figura 6.	Biosíntesis y degradación del ácido salicílico (AS).....	16
Figura 7.	Ubicación de la Facultad de Ciencias Agronómicas (UES).....	19
Figura 8.	Rendimiento por tratamiento (g).....	30
Figura 9.	Número de vainas por tratamiento.....	31
Figura 10.	Numero de semillas por tratamiento.....	32
Figura 11.	Peso de 25 semillas (g)	33
Figura 12.	Numero de flores por tratamiento.....	34
Figura 13.	Diámetro cuello de raíz (mm).....	35

Figura 14.	Humedad parcial por tratamiento (%).	36
------------	--------------------------------------	----

INDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Fig. A- 1.	Fase fenológica del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).	47
Fig. A- 2.	Germinación.	47
Fig. A- 3.	Emergencia.	47
Fig. A- 4.	Hojas primarias.	48
Fig. A- 5.	Primera hoja trifoliada.	48
Fig. A- 6.	Tercera hoja trifoliada.	48
Fig. A- 7.	Prefloración.	49
Fig. A- 8.	Floración.	49
Fig. A- 9.	Formación de vainas.	49
Fig. A- 10.	Llenado de vainas.	49
Fig. A- 11.	Madurez fisiológica.	50
Fig. A- 12.	Preparación del área experimental.	50
Fig. A- 13.	Delimitación del área experimental.	50
Fig. A- 14.	Material utilizado para la siembra.	51
Fig. A- 15.	Siembra.	51
Fig. A- 16.	Proceso de fertilización.	52
Fig. A- 17.	Cosecha.	52
Fig. A- 18.	Almacenamiento de semilla.	52
Fig. A- 19.	Prueba de germinación.	53
Fig. A- 20.	Elaboración de soluciones de ácido salicílico (AS).	54
Fig. A- 21.	Aplicación de ácido salicílico (AS).	54
Fig. A- 22.	Distribución de experimentos A y B respectivamente.	55
Fig. A- 23.	Araña roja.	55
Fig. A- 24.	Aplicación de azufre.	55
Fig. A- 25.	Trips (<i>Thrips sp</i>).	56
Fig. A- 26.	Aplicación de insecticida orgánico.	56
Fig. A- 27.	Mildiu polvoriento (<i>Oidium sp</i>).	56
Fig. A- 28.	Diagrama de depósitos plásticos.	57

INDICE DE CUADROS EN ANEXOS.

Cuadro A- 1.	Molaridad de soluciones de interés (25,50,75 y 100 ppm).....	59
Cuadro A- 2.	Mililitros de solución madre a utilizar en soluciones de interés.....	60

1 INTRODUCCION

El frijol ha sido un alimento tradicionalmente importante en América Latina y en general en una gran cantidad de países en vías de desarrollo en los cuales se cultiva (IICA, 2009). En El Salvador, el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) forma parte de la seguridad alimentaria, ya que el consumo de este grano aporta proteína, fibra y minerales. Cada habitante en este país consume anualmente cerca de 17.32 kilogramos (CENTA,2019). En el ciclo agrícola 2018-2019 fueron sembradas 97,857.9 hectáreas de frijol, con una producción de 204,598,800 kilogramos y una productividad de 2,090.7 kg/ha (DGEA-MAG, 2019).

En los últimos años, la situación agrícola del país con relación al cultivo del frijol ha cambiado drásticamente, debido, entre otras causas, al cambio climático, al precio fluctuante del grano y a la escasez de agua para riego; por lo que la superficie sembrada se ha reducido significativamente al cabo de unos cuantos años. Se estima, que durante el lapso del ciclo agrícola 2017- 2018 al ciclo agrícola 2018-2019, se ha registrado una reducción del 1.48% de la producción total de frijol (aproximadamente unos 3,083,300 kilogramos, menos que los registrados en el ciclo agrícola 2017-2018) (DGEA-MAG, 2019).

Para obtener una mejora en la producción, es necesario modificar el manejo de los cultivos y del agua. Entre las posibles estrategias están: selección de cultivares apropiados, el riego deficitario controlado (RDC) (Gómez 2010). Y el uso de inductores de resistencia al estrés hídrico como es el caso del ácido salicílico (AS) (Campos 2017).

Considerando las pérdidas en la producción y la escasez de agua para riego, según estudios realizados en otros países y basado en la importancia económica que tiene el cultivo de frijol en nuestro país, se evaluó el ácido salicílico (AS) como inductor de resistencia al estrés hídrico en frijol (*Phaseolus vulgaris*), bajo riego deficitario controlado (RDC), para que con base a los resultados obtenidos en esta investigación, puedan desarrollarse técnicas que implementen su uso y ayuden a disminuir el impacto por deficiencia hídrica dentro del cultivo.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Generalidades del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

2.1.1 Origen y distribución de frijol

La región mesoamericana es considerada el centro primario de origen y distribución de las especies cultivadas y silvestres del género *Phaseolus*. Diversas investigaciones sobre restos fósiles, características morfológicas, características genéticas, e incluso la utilización de herramientas biotecnológicas y genómicas, dan evidencias de que tienen su origen en Mesoamérica entre los años 5000 y 2000 a.C. Teniendo en cuenta un contexto más amplio –arqueológico, botánico, genético y bioquímico–, se podría incluso considerar a la región andina norte (Ecuador y norte de Perú) como otro centro de origen del género *Phaseolus* (Fig.1). Estudios realizados con marcadores moleculares han sugerido que algunas especies fueron domesticadas en el occidente de México (FAO 2018).

La importancia de identificar el centro de origen y de distribución de una especie como *Phaseolus vulgaris* radica en que esas áreas son fuente primaria de poblaciones con genes útiles para el mejoramiento genético y de interés para el entendimiento de la evolución, diversificación y conservación de la especie (Hernández 2013).



Figura 1. Hallazgos arqueológicos del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Fuente: Morfología de la planta de frijol común (CIAT 1984).

2.1.2 Taxonomía de frijol

Desde el punto de vista taxonómico esta especie fue clasificada de la siguiente manera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Taxonomía del frijol	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Sub familia	Faboideae
Genero	<i>Phaseolus.</i>
Especie.	<i>Phaseolus vulgaris</i> L

Fuente: Cultivo de frijol (CENTA 2018).

El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro son cultivadas ampliamente. Ellas son: *P. vulgaris* L.; *P. lunatus* L.; *P. coccineus* L. y *P. acutifolius* A. Gray var. *Latifolius* Freeman (CIAT 1984).

2.1.3 Morfología de la planta de frijol

En las primeras etapas de desarrollo, el sistema radicular está constituido por la radícula del embrión, posteriormente, esta se convierte en la raíz primaria la cual desarrollara subdivisiones a lo largo de su crecimiento tales como: las raíces secundarias, las raíces terciarias y los pelos absorbentes (MAG - CENTA 2008). En la planta madura, tanto el tallo como sus ramificaciones son cilíndricas, aristadas y están provistas de nudos. Las hojas del primer par que aparecen arriba de los cotiledones son opuestas, simples y acorazonadas. En cambio, las hojas superiores alternas, se forman de tres folíolos con un eje central abovado y simétrico con laterales asimétricos. El tamaño y forma de los folíolos varía considerablemente según el cultivar y los factores ambientales (León 2000). La flor del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es una típica flor papilionácea de la cual pueden distinguirse dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. En su estado inicial el botón floral está envuelto por las bractéolas que tienen forma ovalada o redonda y en su estado final la corola que aún está cerrada sobresale y las bractéolas cubren solo el cáliz. La flor abierta posee simetría bilateral con las siguientes características, un pedicelo glabro o subglabro que en su base tiene una pequeña bráctea no persistente, el cáliz es gamosépalo el cual posee dos bractéolas ovoides en su base, es campanulado con 5 dientes triangulares. La corola es pentámera con dos pétalos soldados por su base y tres no soldados. Su androceo está formado por nueve estambres soldados y por un estambre libre llamado vexilar. El gineceo es supero el cual incluye un ovario comprimido encorvado con un estigma interno lateral terminal (CIAT 1984). Su fruto, la legumbre, es falcada recta o curva, seca,

dehiscente y monocarpelar formada por dos valvas que tienen un margen dorsal y otro ventral que al secarse se contraen dejando libres las semillas (León 2000). Estas son exalbuminosas, originadas por un ovulo campilótropo las cuales puede tener forma cilíndrica, reniforme, esférica u otra. (CIAT 1984).

2.1.4 Hábitos de crecimiento

Según estudios hechos en (CIAT 1984). Se consideró que los hábitos de crecimiento podrían ser agrupados en cuatro tipos; clasificados bajo crecimiento determinado e indeterminado.

2.1.5 Crecimiento determinado

Tipo I Habito de crecimiento determinado arbustivo: El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada. Cuando esta inflorescencia está formada el crecimiento se detiene (CENTA 2018). En general el tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos; de 5 a 10, comúnmente cortos. La altura puede variar entre 30 y 50 cm. Su etapa de floración es corta y la madures de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo (CIAT 1984).

2.1.6 Crecimiento indeterminado

Tipo II Habito de crecimiento determinado arbustivo: : Pertenece a este tipo, las plantas con las siguientes características: Tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía corta, las ramas no producen guías; Posee pocas ramas, pero en número superior al tipo I y generalmente cortas con respecto al tallo; El número de nudos del tallo es superior al de las plantas del tipo I; generalmente más de 12 y como todas las plantas de habito de crecimiento indeterminado, estas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor (CIAT 1984).

Tipo III Habito de crecimiento indeterminado postrado: Plantas postradas o semipostradas con ramificaciones bien desarrolladas. La altura de las plantas es superior a la de las plantas del tipo I y II (generalmente mayor de 80 cm). Así mismo, la longitud de los entrenudos es superior con respecto a los hábitos anteriormente descritos y tanto el tallo como las ramas terminan en guías. Algunas plantas son postradas desde la primera fase de la etapa vegetativa. Otras con arbustivas hasta prefloración y luego son postradas. Dentro de estas variaciones se puede presentar aptitud trepadora especialmente si las plantas cuentan con algún soporte, en cuyo caso suelen llamarse semitrepadoras (CENTA 2018).

Tipo IV Habito de crecimiento indeterminado trepador: El tallo de este tipo de plantas puede tener de 20 a 30 nudos, alcanzando así más de dos metros de altura con un soporte adecuado. La etapa de floración es significativamente más larga que la de otros hábitos, de tal manera que en la planta se presentan a un mismo tiempo las etapas de floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración.

Además, en el tallo se encuentran presentes a nivel de cada nudo, otros órganos como las hojas, las ramas, las raíces y las flores (CENTA 2018).

2.2 Etapas de desarrollo

En el desarrollo de la planta de frijol se han identificado diez etapas, las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes. El conjunto de estas diez etapas forma la escala de desarrollo de la planta de frijol. La identificación de cada etapa se hace con base en un código que consta de una letra y un número. La letra corresponde a la inicial de la fase a la cual pertenece la etapa; es decir, V si la etapa pertenece a la fase vegetativa o R si pertenece a la reproductiva. El número del 0 al 9 indica la posición de la etapa en la escala (Fig. A-1) (Fernández s.f.).

Los factores más importantes que afectan la duración de las etapas de desarrollo del frijol incluyen el genotipo (cuyas características, hábito de crecimiento y precocidad pueden variar), y el clima. Existen otros factores tales como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas (Fernández s.f.).

2.2.1 Fase vegetativa

Dentro de esta fase, existen cinco etapas de desarrollo; La germinación (Etapa V0) empieza cuando la semilla que se ha sembrado dispone de las condiciones óptimas dentro del entorno (agua, temperatura y suelo) para dar inicio al proceso de imbibición y engrosamiento de la misma; de ella emerge la radícula, la cual se alarga para convertirse en la raíz primaria, cerca de la superficie del suelo y sobre la raíz primaria aparecerán las raíces secundarias y terciarias, posteriormente y para dar fin a esta etapa se alarga el hipocótilo y los cotiledones se pueden observar en la superficie del suelo (Fig. A-2). Emergencia (Etapa V1) se inicia cuando los cotiledones del 50% de las plántulas del cultivo aparecen al nivel del suelo, el hipocótilo se endereza hasta alcanzar su máximo tamaño; las hojas primarias, ya formadas en el embrión de la semilla, crecen y se despliegan. Los distintos órganos de la parte aérea se vuelven verdes; en ciertas variedades aparece una pigmentación rosada o morada, especialmente en el hipocótilo (Fig. A-3). Aparición de hojas primarias (Etapa V2) inicia cuando las hojas primarias están desplegadas y completamente en posición horizontal en el 50% de las plantas del cultivo, al comienzo de esta etapa, la yema terminal del tallo principal se puede distinguir entre las hojas primarias (Fig. A-4). Primera hoja trifoliada (Etapa V3) da comienzo cuando se despliega la primera hoja trifoliada en el 50% de las plantas del cultivo, el entrenudo entre las hojas primarias y la primera hoja trifoliada como el pecíolo de esta última son todavía cortos; al comienzo de ella, la primera hoja trifoliada se encuentra debajo de las hojas primarias. También se puede observar en esta etapa la segunda hoja trifoliada de tamaño muy reducido todavía; los cotiledones se han secado completamente, y por lo regular se han caído. Al final, se empieza a formar la primera rama, generalmente a partir de la yema de la primera hoja trifoliada (Fig.

A-5). Tercera hoja trifoliada (Etapa V4) Inicia cuando el 50% de las plantas del cultivo ha desplegado su tercera hoja trifoliada, en ese momento, dicha hoja se encuentra todavía debajo de la segunda hoja trifoliada. En la axila de cada hoja (incluso de las primarias y de los cotiledones) se encuentra una triada de yemas que pueden originar estructuras vegetativas o reproductivas generalmente, las yemas de los nudos que están por debajo de la tercera hoja trifoliada se desarrollan como ramas. El tipo de ramificación, principalmente el número y la longitud de las ramas, depende de factores como el genotipo y las condiciones del cultivo, entre otros. La primera rama que se desarrolla forma su primer nudo con su hoja trifoliada desplegada cuando el tallo principal tiene en promedio tres o cuatro hojas trifoliadas ya desplegadas (Fig. A-6) (CIAT 1986).

2.2.2 Fase reproductiva

La fase reproductiva esta subdividida en 5 etapas de desarrollo; La prefloración (Etapa R5) inicia cuando en el 50% de las plantas aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos según sea el hábito de crecimiento (determinado o indeterminado). En las variedades de los tipos II, III y IV, los primeros racimos florales aparecen en la axila de una de las hojas trifoliadas inferiores del tallo principal o de las ramas de la planta. En las variedades determinadas los primeros botones florales aparecen generalmente en el nudo superior del tallo principal; la aparición del primer botón floral depende de factores como el genotipo, la temperatura, el fotoperiodo, y otros. Al finalizar la prefloración, los pedúnculos de los racimos se alargan y la corola aparece entre las bractéolas, adquiriendo la pigmentación característica de la variedad (Fig. A-7). Floración (Etapa R6) da comienzo cuando se encuentra abierta la primera flor en el 50% de las plantas del cultivo, esta corresponde al primer botón formado; por lo tanto, en las variedades de Tipo I (determinadas) la floración empieza en el último nudo (nudo apical) del tallo principal y continua en forma descendente, mientras que en las variedades de los Tipo II, III y IV (indeterminadas) empieza en la parte baja de la planta y continua de forma ascendente (Fig. A-8). Formación de las vainas (Etapa R7) Después de la fecundación de la flor, la corola se marchita y la vaina empieza a crecer. Cuando aparece la primera vaina en el 50% de las plantas del cultivo se considera iniciada dicha etapa; en ese momento la corola puede estar desprendida o puede colgar aun del extremo inferior de las vainas. La etapa de formación de vainas termina cuando las mismas han alcanzado su máxima longitud, y solo entonces comienza definitivamente el crecimiento de los granos (Fig. A-9). Llenado de vainas (Etapa R8) empieza cuando en el 50% de las plantas del cultivo la primera vaina cesa de alargarse y empieza a llenarse debido al crecimiento de las semillas. Este fenómeno puede comprobarse mirando las vainas por el lado de las suturas: se observan los abultamientos correspondientes a la semilla en crecimiento (Fig. A-10). Madurez fisiológica (Etapa R9) Se inicia cuando la primera vaina del 50% de las plantas de un cultivo cambia su color verde por amarillo o pigmentado; las hojas, empezando por las inferiores, adquieren un color amarillo y se caen. Todas las partes de la

planta se secan y en particular las semillas, cuyo contenido de agua baja hasta llegar a un 15%; las semillas toman entonces su color final y la planta está lista para la cosecha (Fig. A-11) (CIAT 1986).

2.3 Importancia económica y social del cultivo de frijol

2.3.1 Importancia económica

La importancia de esta leguminosa como cultivo es fundamental para la economía campesina, como una fuente de ocupación e ingreso, así como una garantía para su seguridad alimentaria. El frijol es cultivado en regiones de América Latina, África y Asia, donde se encuentran más los países en proceso de desarrollo en los que se genera aproximadamente el 77% de la producción mundial. Sin embargo, para países desarrollados de Europa y América del Norte, el frijol común es manejado como un cultivo de alta tecnología que genera un rubro de exportación de aproximadamente el 23% de la producción mundial (Díaz 2001). Para nuestra región el frijol se ha convertido en un pilar estratégico; ya que ha generado una producción promedio para estos 10 años en análisis de 1,240,410,5 Ton, con un valor comercial para mayorista de 499.99 millones de dólares, la necesidad de mano de obra promedio de estos años ha sido de 35.5 millones de días hombre, equivalentes a 142,054 empleos permanentes. Si integramos los beneficios de este grano nos damos cuenta de lo estratégico que es, ya que ha promediado en los últimos 10 años junto con el maíz; una operación comercial que asciende a 1,433.79 millones de dólares. (IICA 2014).

2.3.2 Importancia social

La crisis mundial tanto económica como alimenticia y los fenómenos naturales enfrentados en la actualidad juegan un papel importante en contra de la población, aumentando las cifras de pobreza en las áreas urbanas y rurales de nuestro país. Debido a esto muchas personas han regresado a las labores agrícolas, y, en términos de ocupación, el sector ganadero, silvícola y especialmente el agrícola concentró muchas más personas que cualquier otra actividad económica (IICA 2014). Refiriéndonos al cultivo de frijol y a todo su proceso de manejo, este genera una fuente de empleo tanto directos como indirectos, los cuales se extienden desde su producción hasta su comercialización, de ahí la importancia social en cada uno de los países donde este se desarrolla (Díaz 2001).

2.4 Requerimientos climáticos del frijol

El rango altitudinal óptimo para el desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) va desde los 400 a 1500 msnm. Se desarrolla bien en rangos promedio de temperatura que van desde los 22 a 30 ° C, actualmente se han generado variedades que toleran altas temperaturas y pueden ser cultivadas a menor y mayor elevación (CENTA 2018). Los mejores suelos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) son los de textura franco arenosas, fértiles, con un buen contenido de materia orgánica, con buena aireación y drenaje, ya que el cultivo no tolera suelos

compactos, la poca aireación y la acumulación de agua. El pH óptimo varía entre los 6.5 a 7.5 (IICA 2009). Puede llegar a tolerar pH hasta de 5.5 por debajo de este el cultivo desarrolla síntomas de toxicidad de Aluminio y/o Manganeso, y valores superiores a 8.2 presentan inconvenientes de salinidad, exceso de Sodio, alcalinidad y deficiencia de elementos menores. El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) tiene un consumo promedio de 228 mm de agua durante todo su ciclo de desarrollo, sobre todo, en las etapas V3 y V4 (aparecimiento de la primera y tercera hoja trifoliada) de la fase vegetativa y las etapas R5, R6, R7 y R8 (la prefloración, la floración, la formación de vainas y el llenado de vainas) de la fase reproductiva. También la luminosidad juega un papel importante en la fotosíntesis de la planta ya que el frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una especie de días cortos y los días largos tienden a causar demora en la floración y la madurez (Díaz 2001).

2.5 Factores económicos del cultivo de frijol

2.5.1 Países productores de frijol a nivel mundial

A continuación, en la (Fig. 2) se pueden observar a los países que destacaron dentro del periodo del 2007 al 2018 en la producción de frijol a nivel mundial (FIRA 2019).

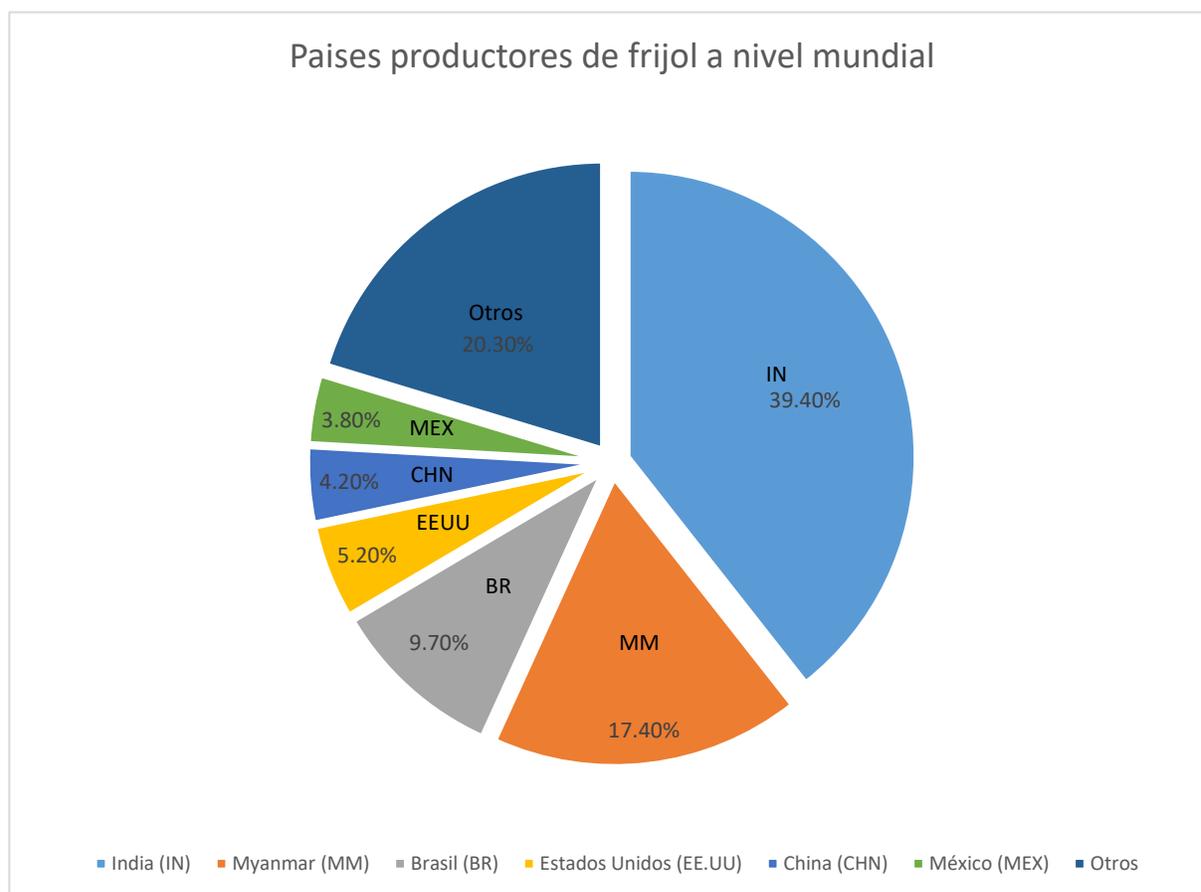


Figura 2. Países productores de frijol a nivel mundial.

Fuente: Panorama alimentario (FIRA 2019).

2.5.2 Rendimiento a nivel mundial

A continuación, en la (Fig. 3) se pueden observar los rendimientos obtenidos a nivel mundial durante el año 2017 (FIRA 2019).

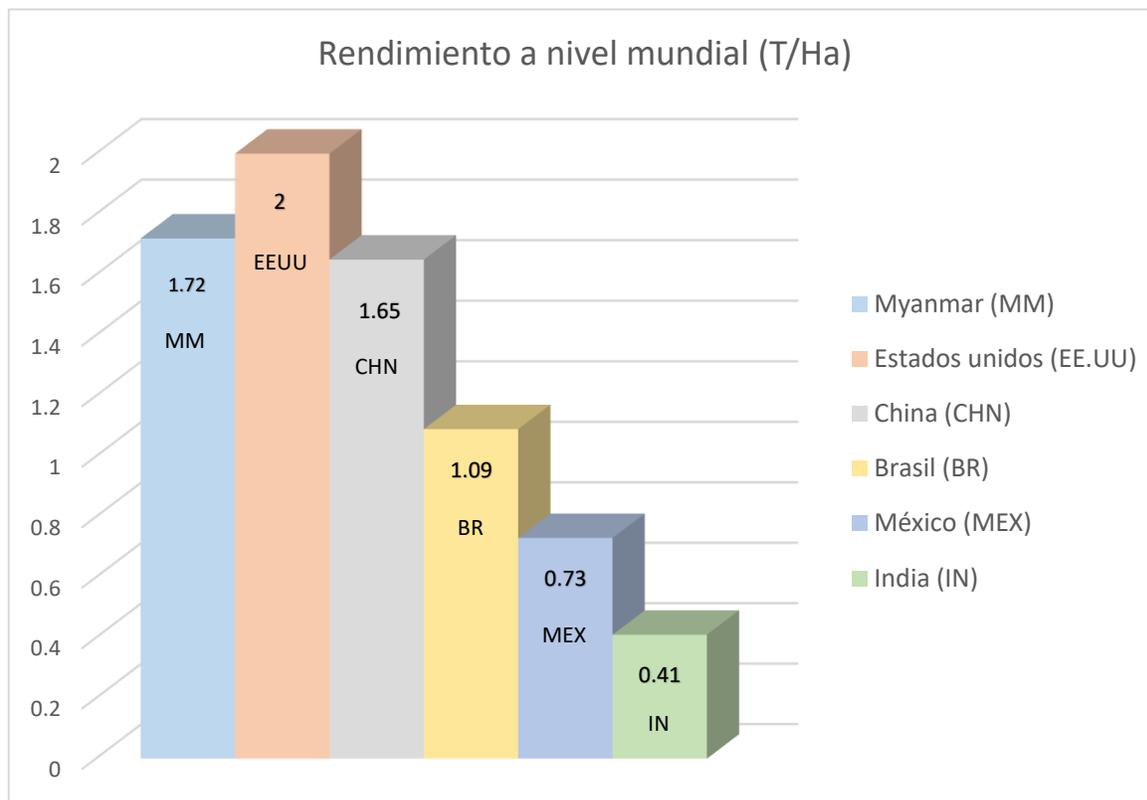


Figura 3. Rendimiento de frijol a nivel mundial (T/Ha).

Fuente: Panorama alimentario (FIRA 2019).

2.5.3 Producción de frijol a nivel mundial

A nivel mundial se cultivan alrededor de 33.8 millones de hectáreas de frijol. Según la (FAO 2018) en el periodo comprendido entre el 2013 al 2017 la producción mundial de frijol creció una tasa promedio anual de 5.9 %, para ubicarse en 31.4 millones de toneladas, esto debido al aumento de la superficie destinada al cultivo (FIRA 2019).

Como se mencionó en apartados anteriores, el 79.7% de la producción mundial se concentró en seis países: India, Myanmar, Brasil, Estados Unidos, China Y México. Entre estos, destaca el dinamismo de la producción de la India y Estados Unidos, donde esta creció en tasas promedio anuales de 12.3 y 9.9 % entre 2013 y 2017, respectivamente (FIRA 2019).

2.5.4 Producción de frijol a nivel regional

Durante el periodo 2019/2020, se cultivaron 730,327 Ha de frijol, el 90% de la superficie cultivada a nivel regional lo poseen, en orden de importancia: Nicaragua, El Salvador, Guatemala y Honduras. Con respecto a la productividad, El Salvador posee el rendimiento promedio más alto de la región con 2.08 T/Ha (MAG 2019), seguido por Nicaragua con 1.9 T/Ha (BCN 2020), Honduras con 1.67 T/Ha (SEN 2020), Guatemala con 1.52 T/Ha (INE 2019) y finalmente con el rendimiento más bajo se encuentra Costa Rica con 0.58 T/ha (INEC 2020).

2.5.5 Consumo per cápita

El frijol cumple un papel muy importante dentro de la seguridad alimentaria de nuestro país, ya que es uno de los productos mayormente consumido dentro de la canasta básica, después del maíz, por ser una gran fuente de proteína, fibra y minerales. Según (CENTA 2018) el consumo per cápita por año en El Salvador es de los más altos en Centroamérica, con un consumo de 17.32 kg.

2.5.6 Productores de grano en el país

Para el 2014 El Salvador contaba con 395,588 productores agropecuarios, de los cuales 370,692 son productores de granos básicos, y de ellos un total de 157,481 se dedican a la producción de frijol, donde el 99% son productores individuales; el resto pertenece a cooperativas y empresas privadas (IICA 2014).

2.5.7 Productores de semilla de frijol en El Salvador

Existen en la actualidad 312 productores en semilla de frijol, de los cuales 183 están asociados a 4 pequeñas empresas conformadas en el año 2012 con el acompañamiento de FAO (Agro Zapotitan, ubicada en el distrito de riego Zapotitan; SEDEOCCI, que integra a productores de la región occidental; ACOCEP en la región central y paracentral; y PROCOMAO, formada por productores de la región oriental). El resto son agricultores independientes. En total cultivan 1,075.2 Ha con un rendimiento promedio de 3.72 T/Ha y una producción total de 4000 T, la cual es vendida mayoritariamente al gobierno para el programa de entrega de paquetes agrícolas. En la actualidad se cultivan 8 variedades: CENTA PIPIL, CENTA SAN ANDRES, CENTA CPC, CENTA NAHUAT, CENTA CHAPARRASTIQUE, CENTA FERROMAS, CENTA EAC, CENTA TACUBA y CENTA SEQUIA siendo las variedades principales CENTA PIPIL Y CENTA SAN ANDRES. La zona de mayor tradición y producción de semilla de frijol es en el valle de San Andrés, donde se cultivan anualmente entre 140 a 199.5 Ha (IICA 2014)

2.5.8 Importación de frijol

A continuación (Figura 4) se presentan las importaciones realizadas de frijol durante el periodo 2018-2019, según su nivel de importancia (DGSVA-MAG 2019).

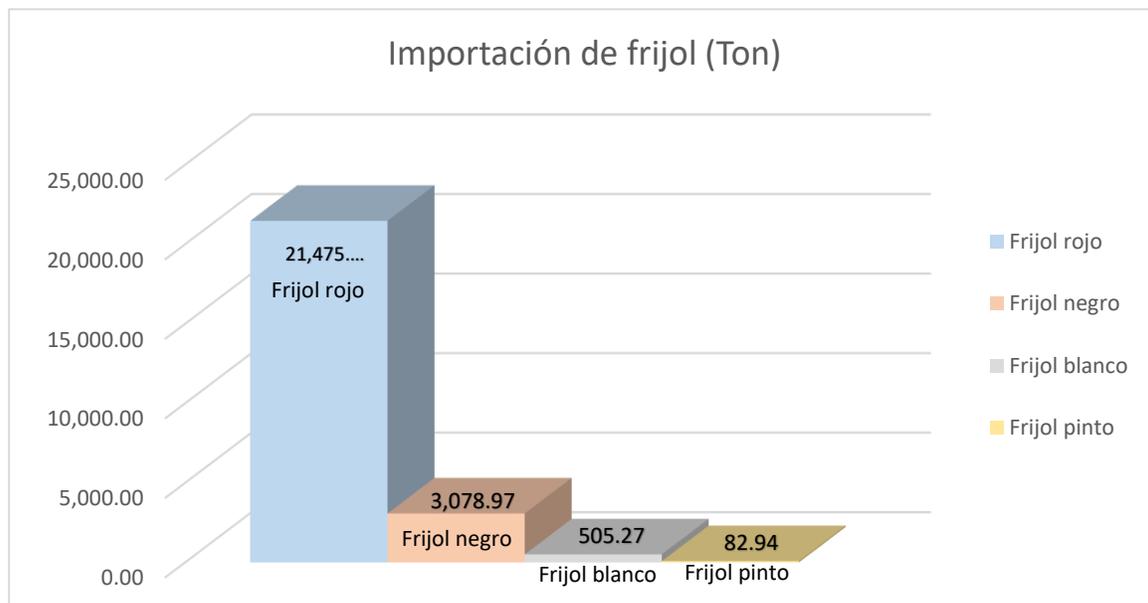


Figura 4. Importación de frijol (Ton).

Fuente: Anuario de estadística agropecuaria (DGSVA-MAG 2019).

2.5.9 Exportación de frijol

A continuación (Figura 5) se presentan las exportaciones realizadas de frijol durante el periodo 2018-2019, según su nivel de importancia (DGSVA-MAG 2019).

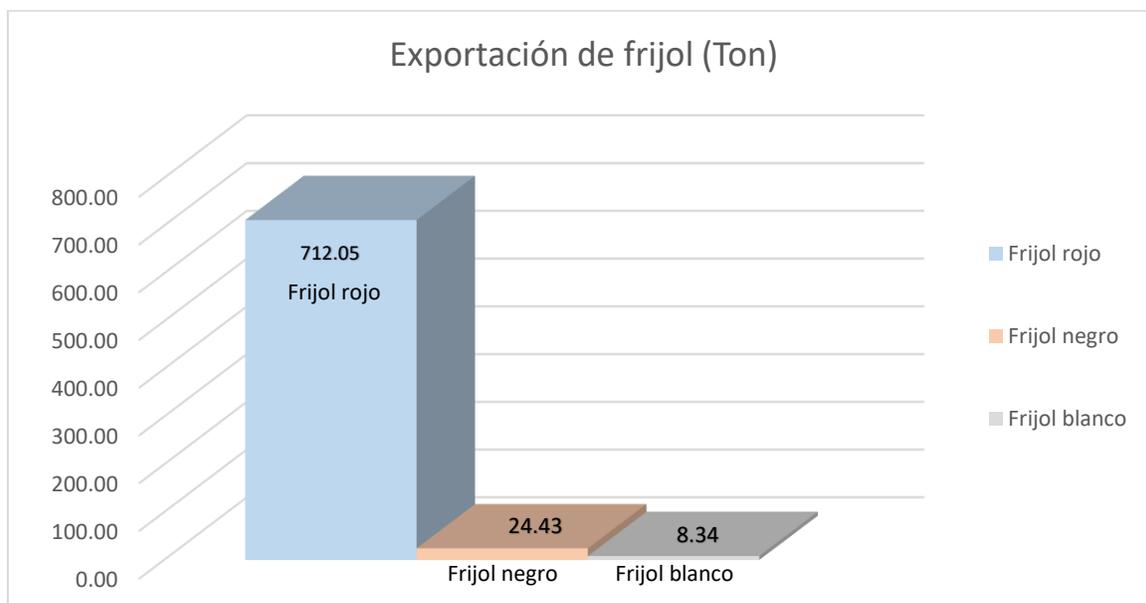


Figura 5. Exportación de frijol (Ton).

Fuente: Anuario de estadística agropecuaria (DGSVA-MAG 2019).

2.6 Propiedades bromatológicas del frijol (x100 g)

El frijol es una leguminosa que constituye una rica fuente de proteínas e hidratos de carbono, dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteína varía del 14% al 33%, siendo rico en aminoácidos como la lisina (6.4 a 7.6 g / 100 g de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g / 100 g de proteína), en relación a la aportación de carbohidratos, 100 g de frijol crudo aportan 52 a 76 g dependiendo de variedad (Ulloa *et al* 2011). Dentro de los macronutrientes del frijol, la fracción correspondiente a los lípidos es la más pequeña con (1.5 a 6.2 g / 100 g), constituidos por una mezcla de acilglicéridos cuyos ácidos grasos predominantes son los monos y poli insaturados. El frijol también es una buena fuente de fibra cuyo valor varía de 14 a 19 g / 100 g de alimento crudo, del cual hasta la mitad puede ser de forma soluble (Ulloa *et al* 2011). Además, este alimento también es una fuente considerable de Hierro, Calcio, Magnesio, Zinc y Potasio. (FAO 2021). La variedad de frijol rojo que más se consume en El Salvador es el de seda y el tinto, debido a su sabor y textura. Estas dos variedades se consideran como sustitutos perfectos entre sí. El frijol negro no ha sido aceptado por la población a pesar de tener características similares y un menor costo con respecto al frijol rojo (SC 2014).

2.7 Manejo agronómico del cultivo de frijol

2.7.1 Época de siembra en El Salvador

En nuestro país se reconocen 3 épocas de siembra; la de invierno corresponde del 15 de mayo al 15 de junio, cuando las lluvias están establecidas; la segunda corresponde a la siembra de postera que va desde el 15 de agosto al 15 de septiembre. Esta época de siembra generalmente está condicionada a la madurez fisiológica del maíz cuando se siembra en relevo con este cultivo; y la última época va desde el 15 de noviembre al 15 de diciembre. Esta es la siembra que se efectúa bajo riego o humedad residual, conocida como siembra de apante (MAG - CENTA 2008).

2.7.2 Sistemas de siembra del frijol

Frijol solo o monocultivo: Esta puede realizarse en cualquier época de siembra y consiste en sembrar el frijol solo, con distanciamientos entre surcos de 50 a 60 cm y a 7.5-10 cm entre plantas (10-13 plantas por metro lineal), más que todo cuando es un suelo preparado con maquinaria agrícola. Frijol asociado: El frijol puede sembrarse en asocio con todos aquellos cultivos en los cuales no haya competencia por luz, incluyendo cultivos perennes en sus primeros años de plantación. En El Salvador el asocio más común es con maíz o con caña de azúcar. Asocio maíz-frijol: Se recomienda hacerlo al mismo tiempo, pero cuando hay atrasos en alguno de los cultivos, el periodo de siembra del segundo no debe exceder a los 5 días. Los distanciamientos de siembra para la asociación de maíz-frijol son: Para maíz 90 a 100 cm entre surcos y 20 a 40 cm entre plantas, poniendo una o dos semillas por

postura; para el frijol el surco debe ir separado de 20 a 25 cm del surco de maíz y de 10 a 20 cm entre plantas, colocando una o dos semillas por postura, respectivamente. Asocio frijol-caña: Cuando se asocia frijol con caña de azúcar, se recomienda hacerlo con caña de segundo corte en adelante, pudiendo hacerse en la época invernal y de apante, después que se ha cosechado la caña. Los distanciamientos de siembra entre surcos dependerán de los distanciamientos entre surcos que tengan la caña, poniendo 2 o 3 surcos de frijol entre 2 surcos de caña. El distanciamiento entre plantas de frijol es de 10 a 20 cm colocando una o dos semillas, respectivamente. Frijol intercalado: Es el sistema de siembra más utilizado en el país y consiste en sembrar frijol en un terreno donde hay maíz que ha llegado a su madurez fisiológica, intercalando el frijol entre los surcos de maíz. El frijol se siembra a ambos lados del surco del surco de maíz, separados de este 20 a 25 cm; el distanciamiento entre plantas es de 10 a 20 cm, colocando una o dos semillas, respectivamente (MAG - CENTA 2008).

2.7.3 Manejo de malezas

El periodo crítico de competencia por malezas inicia desde el primer día hasta los 25 a 30 días después de haber emergido el frijol (IICA 2009). Es difícil establecer un patrón general de manejo de malezas en las áreas de frijol debido a la diversidad de sistemas de cultivo. Sin embargo, algunos principios generales pueden ser aplicados. Un aspecto, a ser considerado en cualquier programa de manejo de malezas en frijol, es el uso de cultivares competitivos, o sea de aquellos capaces de crecer rápidamente durante estadios tempranos y de producir abundante follaje. Si el cultivar carece de esta característica, lo más aconsejable, siempre que sea posible, será reducir la distancia tanto de las plantas en la hilera como la distancia entre las hileras, para así aumentar su competencia con las malezas. (FAO s.f.).

2.7.4 Fertilización

Cuando los suelos son pobres o están “agotados” una fertilización adecuada proporciona los nutrimentos necesarios para el buen crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo, es recomendable incorporar los residuos de las cosechas anteriores, ya que esta materia orgánica mejora la calidad del suelo y reduce la cantidad de fertilizantes que necesita aplicar al cultivo. Se recomienda fertilizar siguiendo las recomendaciones que proporciona un análisis de suelo; caso contrario en el que este no se posea, pueden aplicarse los abonos en función de la experiencia en frijol y el grado de conocimiento de las parcelas a cultivar (CENTA 2018).

En el frijol la fijación biológica de nitrógeno atmosférico por parte de la simbiosis con *Rhizobium* no es suficiente, pero satisface parte de los requerimientos del cultivo. Se sabe que el cultivo es sensible a la toxicidad de Al y Mn, así como a toxicidad o deficiencia de Zn, B, Mo, Mg. El frijol absorbe en promedio 134, 16, 117, 23, 64 y 21 Kg/Ha de cada uno de estos elementos respectivamente (Díaz 2001).

Según la (FAO s.f.) las exigencias totales de N, P, K, Ca, Mg y S son las siguientes. N 97 Kg/ha, P 9 Kg/ha, K 93 Kg/ha, Ca 54 Kg/ha Mg 18 Kg/ha y S 25 Kg/ha

2.7.5 Manejo de plagas de frijol

La previsión y el manejo adecuado y oportuno de insectos y enfermedades resulta más efectivo y rentable que los controles realizados a la suerte o por costumbre, ya que permiten a la planta un mejor desarrollo, pues no sufre daños que alteren su crecimiento ni afecten la calidad de la cosecha. Es de suma importancia saber reconocer los insectos y las enfermedades que afectan al cultivo, y el momento y método para prevenirlos y/o controlarlos (MAG - CENTA 2008).

2.7.6 Manejo de enfermedades de frijol

Al igual que los insectos, las enfermedades ocasionan pérdidas considerables en el rendimiento del frijol cuando no son prevenidas de forma oportuna. Cuando una enfermedad se desarrolla completamente sobre el cultivo es difícil su control, por lo que se recomienda la utilización de diferentes prácticas de prevención o control (manejo integrado) para disminuir el ataque de los patógenos. (MAG - CENTA 2008) El manejo recomendado para el control de las enfermedades es preventivo, como primera medida es la utilización de semilla libre de enfermedades, utilización de variedades resistentes.

2.8 Problema de sequía en El Salvador

2.8.1 Efecto de la sequía en la producción agrícola de frijol en El Salvador

Aunque toda la superficie de El Salvador se encuentra en el corredor seco centroamericano, este cuenta con la menor superficie de la zona con efectos severos a la sequía (4%). Nuestro país se ve afectado por el fenómeno conocido como sequía meteorológica, la cual se produce cuando se da lugar a un prolongado tiempo sin lluvias o con lluvias menores que la media. (CEPAL 2001). Durante la época lluviosa (mayo a octubre) suelen ocurrir periodos secos en cualquiera de estos meses que pueden ser débiles (5 a 10 días consecutivos), moderados (11 a 15 días secos) y fuerte (mayor a 15 días secos consecutivos) (MARN 2021).

En relación con la agricultura y específicamente con la producción de granos básicos (maíz sorgo y frijol), la mayor amenaza originada por la sequía es la disminución de humedad de los suelos (CEPAL 2001). Lo cual genera que las primeras cosechas se pierdan, el crecimiento de los pastizales sea reducido y los ríos pierdan su nivel normal de cauce (MARN 2021).

2.9 Ácido salicílico (AS)

2.9.1 Origen del ácido salicílico (AS)

La corteza del sauce blanco (*Salix alba*) contiene una sustancia llamada salicina, de la cual se obtiene el ácido salicílico. El sauce blanco es un árbol de la familia de las salicáceas que puede alcanzar unos 25 metros de altura.

Se halla en zonas templadas (Centro y Sur de Europa, norte de África y el oeste asiático; en menor medida puede verse en Norteamérica.) Sus hojas son aserradas de color gris plateado, tienen el revés sedoso, sus flores tienen amentos en forma cilíndrica, que crecen en primavera y la corteza es de color grisáceo, su madera es flexible y pesa muy poco, y se utiliza para hacer cerillas, entre otros utensilios. El ácido salicílico ha sido hallado en otras plantas como el abedul y las hojas de gaulteria (Allevato, 2008).

2.9.2 Composición del ácido salicílico (AS)

El ácido 2-hidroxibenzoico o ácido salicílico (AS) pertenece al grupo de los compuestos fenólicos, cuya estructura química está constituida por un anillo aromático con un grupo hidroxilo o un derivado funcional. Su fórmula molecular es $C_7H_6O_3$ con una masa molecular de 138.121 g/mol (Campos 2017).

2.9.3 Papel del ácido salicílico (AS) en las plantas

En plantas, el ácido salicílico (AS) regula diversos procesos fisiológicos como, por ejemplo: el crecimiento celular, la respiración, la apertura estomática, la senescencia, el desarrollo de plántulas y la termotolerancia (Campos 2017) Además tiene un papel relevante en la respuesta a diferente estrés de tipo abiótico, como son: bajas y altas temperaturas, toxicidad por metales pesados, sequia, estrés osmótico y salinidad (Janda y Ruelland 2015). Por otra parte, el tratamiento con ácido salicílico (AS) induce la expresión de genes PR causantes de la resistencia a diferentes patógenos, como: virus, bacterias y hongos. Este fenómeno es conocido como resistencia sistémica adquirida (Yan y Dong 2014).

2.9.4 Respuesta de las plantas al estrés biótico y abiótico

Los cambios provocados por factores climáticos, edáficos y por la actividad del hombre generan estrés en las plantas afectando su productividad y rendimiento. Existen varias clasificaciones de los factores de estrés, en general, pueden ser clasificados en estrés abiótico (físicos y químicos) y bióticos (Campos 2017). Entre los factores físicos se encuentran déficit o exceso de agua, altas y bajas temperaturas y radiación UV y entre los factores químicos están la contaminación atmosférica, toxicidad por metales pesados y salinidad. En tanto los factores bióticos representan a los patógenos en general (virus, bacterias, hongos, etc.) (Tambussi 2004).

Las plantas perciben las señales del medio ambiente y estas poseen la capacidad de transmitirlas a la maquinaria celular como respuesta de los cambios ambientales. Estas respuestas pueden consistir en la activación de un conjunto de mecanismos de defensa que incluyen la biosíntesis de metabolitos, respuesta hipersensible y barreras de defensa estructurales como la deposición de lignina (Sabater 2013), así como también cambios en la cantidad o actividad de determinadas proteínas, en la activación de genes de defensa como respuesta a diversos tipos de estrés bióticos y abióticos (Sunkar *et al.*, 2007).

2.10 Tipos de resistencia mediada por el ácido salicílico (AS)

2.10.1 Resistencia sistémica adquirida (RSA)

Una de las actividades fisiológicas más relevantes generadas por el ácido salicílico (AS) ha sido la resistencia sistémica adquirida, un efecto de respuesta de tipo inmunológica desencadenada ante una infección por patógenos (Zambrano 2012). Se ha determinado que incrementos de los niveles de ácido salicílico (AS) en plantas invadidas por virus, hongos y bacterias son necesarios para la manifestación de síntomas del ataque biótico y además coincide con la expresión de genes de defensa (genes PR). Esta correlación y función de la hormona fueron demostradas con la aplicación de agentes que bloquean la síntesis de ácido salicílico (AS) (Delaney et al., 1994; Wildermurth et al., 2001).

2.11 Biosíntesis y degradación del ácido salicílico (AS)

Se ha propuesto dos caminos de la síntesis de ácido salicílico (AS) a partir de la fenilalanina, la diferencia entre uno y otro se encuentra en el paso de hidroxilación del anillo aromático (Fig. 6) en una reacción mediada por la enzima fenilalanina-amoniolasa (PAL) la fenilalanina es convertida en ácido cinámico y este último es transformado en ácido benzoico (AB) o en ácido ortocumarico los cuales se supone son precursores del ácido salicílico (AS) (Raskin 1992).

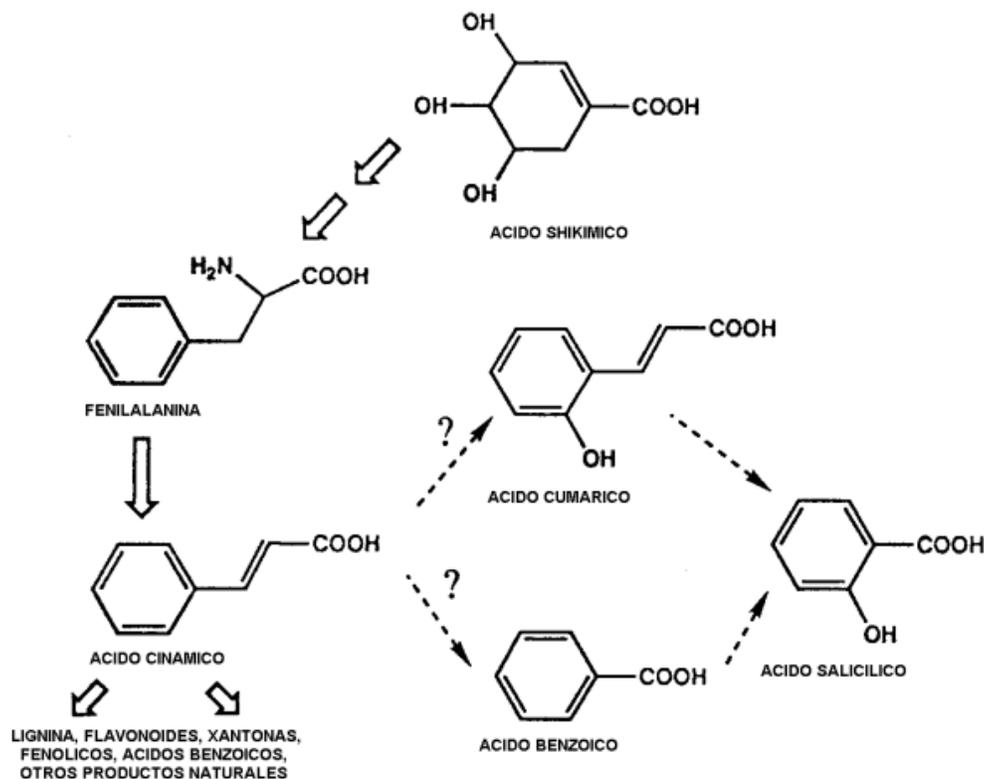


Figura 6. Biosíntesis y degradación del ácido salicílico (AS).

Fuente: Evaluación del ácido salicílico en los niveles intra y extracelulares (Campos 2017).

2.12 Ácido salicílico (AS) y el daño oxidativo

El estrés oxidativo se presenta cuando la producción de especies activas de oxígeno (EAO) sobrepasa la capacidad de los sistemas antioxidantes y de captura de radicales libres de la célula. Normalmente el nivel de (EAO) es alto cuando la planta se ve sometida a alguna condición de estrés biótico o abiótico (Draper 1997). Es probable que el ácido salicílico (AS) tenga algún papel regulador en el balance REDOX (oxidación-reducción) de las células vegetales, y ello tal vez explique la capacidad del AS de incluir respuestas tan variadas: como las respuestas fisiológicas, morfogénicas y adaptativas en las plantas (Raskin 1992).

2.13 Aplicación de ácido salicílico (AS)

Al parecer la aplicación de ácido salicílico (AS), actúa como regulador sobre el balance de oxidación-reducción (REDOX) de las células vegetales, incluyendo respuestas fisiológicas y adaptativas en las plantas. Se ha demostrado que la aplicación foliar de ácido salicílico (AS) da lugar a una respuesta de resistencia sistémica adquirida (RSA) por lo cual se dice que el ácido salicílico (AS) funciona como activador o inductor de este proceso (Zambrano 2012).

La aplicación foliar de ácido salicílico en concentraciones de 10 a 100 μM aumento la tolerancia al choque térmico (55°C por 1.5 horas) en plantas de *Sinapsis alba*. Dicha respuesta fue similar a la obtenida con un tratamiento de aclimatación a 45°C (Dat *et al.*, 1998). Al parecer el efecto protector del ácido salicílico (AS) se relaciona con su capacidad para inducir la expresión de sus proteínas al choque térmico en las células vegetales, hecho demostrado en cultivos celulares de tomate (Cronje 1999).

La aplicación exógena de AS disminuye la susceptibilidad al daño por patógenos o estrés abiótico (Shiratsu *et al.*, 1997).

Según (Raskin 1992) El ácido salicílico (AS) participa de forma importante en la cascada de señalizaciones que dan lugar a una respuesta de adaptación a ambientes extremos, a la expresión de los sistemas de control de daño oxidativo, así como la inducción de la resistencia sistémica adquirida (RSA) en el caso de patógenos además de presentar propiedades de retraso de senescencia, inductor de floración y tuberización.

Un estudio realizado en la Universidad Central del Ecuador por Molina (2013) evaluaron el efecto de diferentes inductores de resistencia al estrés hídrico, como al ataque del insecto *Ascia monuste* L. (Lepidóptera: Pieridae) en brócoli, registrando las mejores respuestas con quitosan (CHT) 0.88mM y Ácido Salicílico (SA) 1.00 mM. Según el estudio las plantas pretratadas con los inductores mostraron mejor recuperación ante el estrés hídrico que el testigo, habiendo sido la concentración de los inductores un factor clave.

En los últimos años el ácido salicílico (AS) ha sido intensamente investigado debido a su función como señal endógena de respuesta y defensa contra patógenos en plantas. También se ha encontrado que tiene un papel en la respuesta de las plantas a estrés biótico como la sequía, la refrigeración, la toxicidad de metales pesados, el calor y estrés osmótico, así como en el crecimiento y desarrollo de plantas. Por lo que el AS se ha aplicado en diferentes cultivos para aumentar el rendimiento y la calidad (Zambrano 2012).

Martin et al (2012), indica que el ácido salicílico (AS) a concentraciones de $0.01\mu\text{M}$ incremento en un 19.7% el número de frutos por planta de papaya (*Carica papaya*), en 2% el peso de los frutos y en 21.9% el rendimiento por hectárea.

El uso de inductores de resistencia a la sequía (ácido salicílico) bajo riego deficitario controlado, en el cultivo de canola redujo en un 20% el volumen de agua utilizada, incrementando en un 80% la eficiencia de conversión de cada gramo producido por metro cubico de agua, aumentando 700 kg ha^{-1} el rendimiento, así como la relación beneficio costo en 34% (Gómez 2010).

(Gutiérrez *et al.*, 1998) Demostraron que la aplicación de ácido salicílico (AS) en concentraciones de 1×10^{-2} y 1×10^{-8} M, aumento la biomasa de las plantas de soya.

La aplicación de ácido salicílico (AS) incremento el rendimiento de trigo en concentraciones de 1×10^{-2} y 1×10^{-8} M aumentando el número de granos por espigas, incrementando el rendimiento agronómico con respecto al testigo (López *et al.*, 1998).

(Villanueva *et al.*, 2009) al trabajar con *Chrysanthemum morifolium* demostraron que las plantas asperjadas con ácido salicílico (AS) obtuvieron un diámetro de tallo más grande con respecto al testigo incrementando de manera significativa el peso de materia fresca y seca de follaje y raíz, volumen de raíz y área foliar con los tratamientos a concentraciones de 1×10^{-2} y 1×10^{-8} M respectivamente.

3 Materiales y métodos

3.1 METODOLOGIA DE CAMPO

3.1.1 Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en el invernadero y laboratorio tres del Departamento de Protección Vegetal, ubicados en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, geográficamente localizada a una latitud de 13°43'08.1" Norte y una longitud de 89°12'02.9" Oeste (Fig. 7). A una elevación de 700 msnm y un clima promedio que ronda entre los 22 y 28 °C dentro de las planicies internas del territorio (SNET 2020).

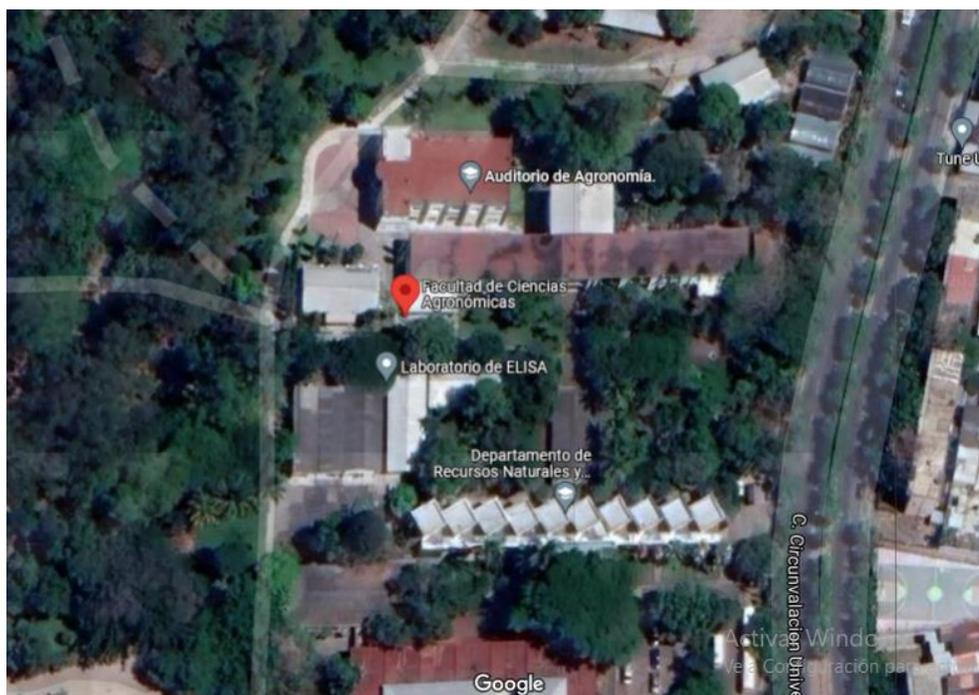


Figura 7. Ubicación de la Facultad de Ciencias Agronómicas (UES).

Fuente: Google maps 2021.

3.1.2 Duración de la investigación

La investigación tuvo una duración de 6 meses comprendidos desde el mes de septiembre del 2021 hasta el mes de marzo del año 2022.

3.1.3 Preparación del área experimental

Previo al montaje del experimento se realizó la respectiva limpieza y desinfección del invernadero del Departamento de Protección Vegetal, utilizando una solución de hipoclorito de sodio (Lejía) a una concentración del 3% (Fig. A-12).

3.1.4 Delimitación del área experimental

En un área de 48 m² se establecieron dos experimentos independientes (A y B), cada uno con un área de 20 m² (2.5 m de ancho por 8 m de largo). Dentro del área de cada uno de los experimentos se colocaron 50 depósitos plásticos, con dimensiones de (22cm*28cm*19cm) a una distancia de 0.50 m entre surco y 0.80 metros entre planta, esto con el objetivo de mantener una adecuada distribución de las unidades experimentales dentro de cada una de las áreas previamente establecidas para ambos experimentos. Finalizada la distribución de los depósitos dentro de cada uno de los experimentos se procedió a la elaboración de una malla de pita nylon que cumpliría la función de tutora para las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Fig. A-13).

3.1.5 Material utilizado para la siembra

Tomando como base las características agronómicas, principalmente la tolerancia que posee el material seleccionado a la humedad limitada, y la posibilidad de potenciar este efecto mediante la aplicación de ácido salicílico (AS), se tomó la decisión de utilizar semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la variedad CENTA Sequia (Fig. A-14). A continuación, en el cuadro 2 se presenta un resumen de las características agronómicas que presenta dicha variedad.

Cuadro 2. Características agronómicas de la variedad CENTA Sequia.

CENTA Sequia	
Características	Valoración
Habito de crecimiento	IIB (guía corta)
Días a floración	33-35
Días a madurez fisiológica	65
Color de grano	Rojo claro
Forma de grano	Arriñonada
Numero de granos por vaina	6-7
Numero de vainas por planta	20
Color de vaina	Crema
Reacción al virus del mosaico dorado	Resistente
Reacción al virus del mosaico común	Resistente
Reacción a mancha angular	Ligeramente tolerante
Reacción a mustia hilachosa	Susceptible
Reacción a bacteriosis	Susceptible
Altas temperaturas	Tolerante
Humedad limitada	Tolerante
Peso de 100 granos (g)	23
Rendimiento potencial (kg/ha)	35
Adaptación (msnm)	300 - 900
Contenido de hierro (ppm)	46
Contenido de zinc (ppm)	30

Fuente: CENTA Sequia “Tolerante a humedad limitada” (2021).

3.1.6 Llenado de depósitos

Para el llenado de los depósitos se utilizó un total de 1755.6 Kg de suelo franco arenoso, proveniente de la estación experimental y de prácticas de la Universidad de El Salvador ubicada en el municipio de San Luis Talpa. Previo al establecimiento de la fase campo el suelo fue desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración del 3%

3.1.7 Siembra

La siembra se realizó el 23 de noviembre del 2021, de forma manual, colocando 4 semillas por postura a una profundidad de 2.5 cm. Posterior a la emergencia se realizó un raleo en el cual se dejó únicamente dos plántulas por unidad experimental, los distanciamientos utilizados fueron 0.50 m entre surco y 0.80 m entre planta delimitados previamente en el apartado 3.1.4 (Fig. A-15).

3.1.8 Riego deficitario controlado (RDC)

Se aplicó un déficit hídrico del 25% al experimento A y 40% al experimento B. Ambos déficits fueron calculados tomando como base el requerimiento hídrico promedio del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) el cual es de 228 mm (CENTA 2018). El riego se aplicó utilizando jeringas MEDLINE de 60 ml con la cantidad de agua diaria requerida en cada una de las etapas fenológicas del cultivo. en el cuadro 3 y el cuadro 4 se muestran los déficits hídricos aplicados para cada uno de los experimentos.

Cuadro 3. Déficit hídrico aplicado para el experimento A (Reducción del 25%)

Etapa	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Duración (días)	5	3	4	6	15	11	4	8	19	14
Req. diario de agua (mm)	1.39	1.27	1.50	1.72	2.47	3.07	3.18	2.62	1.87	0.30
Req. de la etapa (mm)	6.90	3.80	6.00	10.30	37.00	33.70	12.70	20.90	35.50	4.20
Total de agua por etapa (mm)	Fase vegetativa				64.00	Fase reproductiva				107
Requerimiento utilizado durante el ciclo del cultivo (mm)										171

Fuente: N. Hernández (2021).

Cuadro 4. Déficit hídrico aplicado para el experimento B (Reducción del 40%)

Etapa	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Duración (días)	5	3	4	6	15	11	4	8	19	14
Req. diario de agua (mm)	1.10	1.00	1.20	1.30	1.90	2.40	2.50	2.10	1.50	0.24
Req. de la etapa (mm)	5.50	3.00	4.80	7.80	28.50	26.40	10.00	16.80	28.50	3.36
Total de agua por etapa (mm)	Fase vegetativa				49.60	Fase reproductiva				85.0
Requerimiento utilizado durante el ciclo del cultivo (mm)										134

Fuente: N. Hernández (2021).

3.1.9 Fertilización

Se aplicaron dos fertilizaciones granuladas y una fertilización foliar durante todo el ciclo de cultivo. La primera fertilización se realizó al momento de la siembra utilizando fórmula 15-15-15 a una dosis de 0.02285 kg/planta incorporada al suelo a una profundidad de 4 a 5 cm. La segunda fertilización granular fue realizada 30 días después de la siembra utilizando Urea a una dosis de 0.00389 kg/planta, para esta aplicación se utilizó arena como un vehículo de incorporación para evitar el daño de las raíces por el uso del palín; el fertilizante fue mezclado con la arena y esta fue depositada sobre la superficie del sustrato permitiendo así que el fertilizante pueda incorporarse al sustrato por medio de la infiltración a realizar el riego. Para la fertilización foliar se utilizó Poliquel multi a una dosis de 4 ml/litro, aplicándose con una bomba de mochila de 4 galones (16 litros) durante la etapa de floración. Todas las fertilizaciones descritas en este apartado fueron calculadas en base a las recomendaciones de la guía técnica del manejo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) publicada por CENTA (Fig. A-16).

3.1.10 Manejo de malezas

El control de malezas se realizó de forma manual, eliminando cualquier vestigio existente de semillas en el sustrato (suelo franco arenoso) mediante un colado previo a la siembra utilizando una zaranda de 6x6x36 plg, esto con el fin de evitar la incidencia de malezas dentro de cada unidad experimental.

3.1.11 Manejo de plagas y enfermedades

Se realizaron rondas periódicas de vigilancia con el objetivo de detectar cualquier indicio o presencia de plaga o enfermedad que pueda afectar el desarrollo y rendimiento del cultivo. Para dejar registro de dichas detecciones se elaboró un cuadro (Cuadro 8) en el cual se hace mención: al tipo de plaga o enfermedad detectada, al producto o técnica utilizada para su control, la dosis utilizada del producto y la edad del cultivo (dds) en la que se detectó dicha plaga o enfermedad.

3.1.12 Cosecha y secado

La cosecha fue realizada a los 56 días después de la siembra (el 18 de enero del 2022), para este procedimiento se cortaron e identificaron por tratamiento y repetición (TOR1) las vainas de cada uno de los experimentos (A y B) las cuales posteriormente se sometieron a un proceso de secado (Fig. A-17).

3.1.13 Almacenamiento de la semilla.

La semilla fue empaquetada en bolsas plásticas debidamente identificadas por número de tratamiento y experimento (T0EA) y posteriormente fueron almacenadas en el refrigerador del laboratorio número tres del Departamento de protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas a una temperatura de 20°C (Fig. A-18).

3.2 METODOLOGIA DE LABORATORIO

3.2.1 Prueba de germinación

Para la prueba de germinación se realizó el conteo y desinfección de 100 semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) utilizando dos inmersiones, una de alcohol 90° durante 30 segundos y una de agua destilada durante 1 minuto, al terminar ambas inmersiones fueron secadas en papel toalla para eliminar todo el remanente de residuos y humedad existente. Las semillas fueron colocadas en 10 cajas Petri de 47 mm bajo una relación de 10 semillas/caja, una vez colocadas, estas fueron recubiertas con papel toalla y posteriormente humedecidas con agua destilada, se selló cada una de las cajas Petri con cinta adhesiva (tirro) para prevenir la entrada de microorganismos que puedan contaminar la prueba y estas fueron colocadas en una superficie plana que tuvo contacto con la luz durante el día. Las semillas fueron humedecidas diariamente para mantener un nivel óptimo de humedad que favoreciera la germinación. Al finalizar la primera semana se realizó el conteo de las semillas germinadas en cada una de las cajas Petri para obtener así el porcentaje de germinación (1 semilla equivale a 1%) (Fig. A-19). Para finalizar con esta prueba se determinó la cantidad de semillas a utilizar por postura en cada unidad experimental mediante el uso de la siguiente fórmula.

$$\text{Semillas a sembrar} = \frac{\text{Cant requerida}}{\% \text{ germinacion}} \times 100$$

3.2.2 Elaboración de soluciones de ácido salicílico (AS).

La concentración de las soluciones de ácido salicílico utilizadas se tomaron de una investigación previa sobre inducción de resistencia realizada (Rivas 1996). Dichas concentraciones fueron 25, 50, 75 y 100 ppm. El procedimiento para la elaboración de cada una de las soluciones se describe en el anexo x y la evidencia fotográfica se presenta en la (Fig. A-20).

3.2.3 Aplicación de ácido salicílico (AS)

Las soluciones de ácido salicílico fueron aplicadas en dos ocasiones durante la etapa de floración (Etapa R6) con un intervalo de 7 días entre cada una de ellas, utilizando una hoja de papel como barrera para evitar que la deriva de dichas aplicaciones afectara a las demás unidades experimentales (Fig. A-21).

3.3 METODOLOGIA ESTADISTICA

3.3.1 Diseño experimental

Para esta investigación se utilizó en ambos experimentos (A y B) un diseño completamente al azar, cuyo modelo matemático es el siguiente: $X_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$ (Donde la variable aleatoria observable (X_{ij}) es igual a la media general (μ) más el efecto del i -ésimo tratamiento (T_i) más el efecto del error experimental de la celda (ϵ_{ij})). La razón por la cual se decidió utilizar este diseño fue debido a que los experimentos se mantuvieron en condiciones climáticamente similares dentro del invernadero del Departamento de Protección Vegetal. A continuación, en el cuadro 5 se muestran los factores de variación correspondientes al diseño experimental.

Cuadro 5. Distribución del diseño experimental.

Fuente de variación.	Grados de libertad.
Entre tratamientos	$K - 1 = (5-1) = 4$
Error	$N - K = (50-5) = 45$
Total	$N - 1 (50-1) = 49$

Fuente: N. Hernández (2021).

3.3.2 Tratamientos

Se establecieron dos experimentos (A y B) a los cuales se les aplico déficits hídricos diferentes del 25 y 40% respectivamente; cada uno de los experimentos fue constituido por 5 tratamientos y 10 repeticiones. En el cuadro 6 y 7 se presenta las descripciones de los tratamientos utilizados para ambos experimentos, tomando en cuenta el déficit hídrico aplicado a cada uno de ellos. El objetivo de esto fue evaluar el efecto de inducción de resistencia al estrés hídrico en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) con ácido salicílico bajo riego deficitario controlado (RDC) (Fig. A-22).

Cuadro 6. Descripción de tratamientos para experimento A

Experimento A (Déficit hídrico del 25%)	
Tratamiento.	Descripción.
T0	Testigo RDC 171 mm
T1	Solución de ácido salicílico a 25 ppm y RDC 171.00 mm
T2	Solución de ácido salicílico a 50 ppm y RDC 171.00 mm
T3	Solución de ácido salicílico a 75 ppm y RDC 171.00 mm
T4	Solución de ácido salicílico a 100 ppm y RDC 171.00 mm

Fuente: N. Hernández (2021).

Cuadro 7. Descripción de tratamientos para experimento B

Experimento B (Déficit hídrico del 40%)	
Tratamiento.	Descripción.
T0	Testigo RDC 134.66 mm
T1	Solución de ácido salicílico a 25 ppm y RDC 134.66 mm
T2	Solución de ácido salicílico a 50 ppm y RDC 134.66 mm
T3	Solución de ácido salicílico a 75 ppm y RDC 134.66 mm
T4	Solución de ácido salicílico a 100 ppm y RDC 134.66 mm

Fuente: N. Hernández (2021).

3.3.3 Análisis de datos

Para el análisis cuantitativo se realizó un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de Dunnet, la cual comparó el testigo (T0) con cada uno de los tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4); esto, con un nivel de significancia del 5%, con ayuda del paquete estadístico de Microsoft Excel.

3.4 Variables evaluadas

Las variables evaluadas en cada uno de los experimentos de esta investigación fueron: Rendimiento por planta (g/planta), rendimiento por tratamiento (g/tratamiento), número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento), número de semillas por vaina (nº semillas/vaina), Peso de 25 semillas (g), número de flores por planta (flores/planta), diámetro de cuello de raíz (mm) y humedad parcial por tratamiento (g).

La toma de datos para las variables número de flores se realizó una sola vez en la etapa R6 (Floración). Para las variables Rendimiento por planta (g/planta), rendimiento por tratamiento (g/tratamiento), número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento), número de semillas por tratamiento (nº semillas/tratamiento), Peso de 25 semillas (g), diámetro de cuello de raíz (mm) y humedad parcial por tratamiento (g) fueron realizadas en el laboratorio número 3 del Departamento de Protección Vegetal posterior a la cosecha.

3.5 Descripción de variables evaluadas

3.5.1 Rendimiento por tratamiento (g/tratamiento)

Los datos de cada unidad experimental recopilados de la variable anterior fueron agrupados en sus respectivos tratamientos (T0, T1, T2, T3 y T4) y experimentos (A y B) con el objetivo de ser sumados y conocer el rendimiento obtenido por cada uno de los tratamientos. Los datos obtenidos fueron tabulados y presentados en una gráfica de columnas para conocer cuál de los tratamientos dentro de cada experimento obtuvo el mejor rendimiento (Cuadro 10; Fig. 8).

3.5.2 Número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento)

Se recolecto las vainas de cada unidad experimental correspondientes a cada uno de los tratamientos (T0, T1, T2, T3 y T4) establecidos en ambos experimentos, una vez reunidas en su totalidad, estas fueron contabilizadas manualmente para conocer el número de vainas por tratamiento. Los datos obtenidos en cada uno de los tratamientos fueron tabulados y analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existía diferencia significativa en cada uno de los experimentos (A y B) (Cuadro 12; Fig. 9).

3.5.3 Número de semillas por tratamiento (nº semillas/tratamiento)

Luego de ser extraídas de sus vainas las semillas fueron contabilizadas manualmente para cada unidad experimental. Los datos obtenidos en cada uno de los conteos fueron tabulados y analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existía diferencia significativa en cada uno de los experimentos (A y B) (Cuadro 14; Fig. 10).

3.5.4 Peso de 25 semillas (g)

Se contabilizaron de forma aleatoria 25 semillas de cada uno de los tratamientos, para luego ser pesados en una balanza semianalítica y conocer su peso en gramos. Los datos obtenidos en este procedimiento fueron tabulados y presentados en una gráfica de columnas para conocer cuál de los tratamientos dentro de cada experimento (A y B) obtuvo el mejor peso (Cuadro 16; Fig.11).

3.5.5 Número de flores por tratamiento (flores/tratamiento)

Se contabilizo el número de botones florales existentes dentro cada una de las plantas de frijol correspondientes a cada tratamiento por experimento. Dicho conteo fue realizado una sola vez en la etapa de floración y los datos obtenidos fueron tabulados y analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existía diferencia significativa en cada uno de los experimentos (A y B) (Cuadro 17; Fig. 12).

3.5.6 Diámetro de cuello de raíz (mm)

Se realizó una toma de diámetro de cuello de raíz al momento de la cosecha utilizando un calibrador vernier (Pie de rey) 0-150 mm en cada una de las plantas de cada repetición existentes por tratamiento. Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existía diferencia significativa en cada uno de los experimentos (A Y B) (Cuadro19; Fig. 13).

3.5.7 Humedad parcial por tratamiento (%)

Se pesaron 100 bolsas de papel Kraft previo al análisis para conocer su peso en gramos, luego se recolecto y clasifico todo el material vegetativo obtenido de cada una de las repeticiones por tratamiento, este fue picado y pesado dentro de cada uno de los sobres previamente pesados e identificados con su respectivo número de tratamiento y ensayo donde se recolecto. Los sobres fueron introducidos en una estufa de aire circulante durante 24 horas a una temperatura de 65°C. Después de transcurridas las 24 horas de secado, cada una de las bolsas fue pesadas nuevamente en una balanza semianalítica para conocer el peso seco de cada una de las repeticiones por tratamiento. Para finalizar se calculó la humedad parcial con la siguiente formula.

$$\text{Humedad parcial (\%)} = \frac{(\text{Peso muestra humeda} - \text{Peso muestra seca})}{\text{Peso muestra humeda}} \times 100$$

Los datos obtenidos fueron transformados mediante una ecuación de arcoseno para luego ser analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existía diferencia significativa en cada uno de los experimentos (A Y B) (Cuadro 21; Fig. 14).

4 METODOLOGIA ECONOMICA

4.1 Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una manzana)

Para el análisis económico se utilizó la metodología de presupuestos parciales ya que permitió evaluar la rentabilidad de las diferentes técnicas de manejo (Rivas 2017). En el Cuadro 23 se presenta el formato predeterminado utilizado para la aplicación de esta metodología junto con sus respectivos resultados.

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Prueba de germinación

Como resultado en esta prueba se obtuvo que la semilla de frijol de la variedad CENTA Sequía posee un 80% de germinación. El valor obtenido fue sustituido en la formula descrita en el apartado 3.2.1. junto con el valor de la cantidad requerida de plantas para esta investigación (200 plantas de frijol distribuidas entre los experimentos A y B). Obteniendo como resultado de dicha operación un total de 250 semillas a sembrar repartidas entre cada uno de los experimentos a razón de 2.5 semillas por postura. Debido a que esto no puede ser posible se decidió sembrar 4 semillas por postura para garantizar el crecimiento de 2 plantas de frijol por unidad experimental.

5.2 Riego deficitario

Para esta investigación se utilizó un total de 12.87 Litros de agua, distribuidos de la siguiente manera 7.24 litros para el experimento A y 5.95 litros para el experimento B. La cantidad de agua utilizada en cada uno de los experimentos fue aplicada según la etapa fenología y los días de duración de esta. A continuación, en el cuadro 8 se muestran el resumen del control de riego de cada uno de los experimentos (A y B) dentro de esta investigación.

Cuadro 8. Control de riego para los experimentos A y B.

Experimento A				Experimento B			
Etapa	Duración (Días)	Agua/etapa (L)	Total (L)	Etapa	Duración (Días)	Agua/etapa (L)	Total (L)
V0	5	0.060	0.3	V0	5	0.045	0.225
V1	3	0.055	0.165	V1	3	0.040	0.12
V2	4	0.065	0.26	V2	4	0.050	0.20
V3	6	0.075	0.45	V3	6	0.055	0.33
V4	15	0.105	1.575	V4	15	0.080	1.20
R5	11	0.135	1.485	R5	11	0.105	1.155
R6	4	0.140	0.56	R6	4	0.110	0.44
R7	8	0.115	0.92	R7	8	0.090	0.72
R8	19	0.080	1.52	R8	19	0.065	1.235
Agua utilizada (L).			7.24	Agua utilizada (L).			5.63

Fuente: N. Hernández (2021).

5.3 Manejo de plagas y enfermedades

Durante la fase de campo se detectó la incidencia de diversas plagas y enfermedades dentro del cultivo, las cuales fueron identificadas y puestas bajo control con el objetivo de detener su propagación. Con el fin de dejar un registro de dicha actividad. A continuación, se redactó en el cuadro 9, el tipo de plaga o enfermedad detectada, la técnica utilizada para su control, dosis utilizada y la edad

del cultivo en días después de la siembra (dds) en la que fueron detectadas cada una de las plagas y enfermedades.

Cuadro 9. Cuadro resumen de plagas y enfermedades detectadas.

Plaga o enfermedad detectada	Control utilizado	Dosis	DDS
Mildiu polvoriento (<i>Oidium sp</i>)	Jabón de azufre	1/8 pastilla por litro de agua	19 (11 Dic 2021)
Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)			23 (15 Dic 2021)
Trips (<i>Trips sp</i>)	Insecticida orgánico (Neem y MM)	20ml / Litro	34 (26 Dic 2021)

Fuente: N. Hernández (2021).

(Gallardo *et al.*,2005; Kavousi *et al.*,2009) determinó que el tiempo de desarrollo promedio para las hembras de Araña roja (*Tetranychus urticae*) (Fig. A-23) en hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) completan su desarrollo en 8.2 días a una temperatura de 25°C. Además de la temperatura, la humedad es un factor importante ya que este acaro se desarrolla más rápidamente en lugares con baja humedad en el ambiente. Una alternativa de control es la aplicación de azufre (Fig.A-24), debido a que el dióxido de azufre (SO₂) es dañino para los ácaros en altas concentraciones, afectando así las poblaciones de los mismos (Gugole 2013).

Los Trips (*Thrips sp*) (Fig. A-25) tienen muchas especies vegetales hospedantes como frijol (*Phaseolus vulgaris*), frijol de costa (*Vigna sinensis*), durazno, ciruela, arbustos, hierbas, árboles frutales, etc.; cuando las infestaciones son altas las hojas pueden morir y la vaina no alcanza su madurez, se ha reportado que los mayores daños se hacen en época seca (bajo condiciones de sequía). (CIAT 1992) Los insecticidas naturales a partir de extractos vegetales (ruda o neem), constituyen una alternativa viable para el control de plagas en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), siendo amigables con el medio ambiente, minimizado riesgos para la salud del agricultor y del consumidor final (Fig. A-26) (Cano 2016).

Para el caso del Mildiu polvoriento (*Oidium sp*) (Fig. A-27) (Castaño 1994) menciona que el patógeno es más destructivo durante la estación cálida, cuando las temperaturas predominan entre 25-30°C, las cuales son óptimas para la formación de esporas, germinación y proceso de infección; debido a la existencia de muchas razas fisiológicas de este patógeno, las variedades de frijol actualmente no ofrecen una resistencia estable contra este hongo por lo tanto si el ataque es severo, en especial en las vainas, tallos y hojas es recomendable realizar aplicaciones foliares de fungicidas azufrados.

5.4 Rendimiento por tratamiento (g)

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 10) para la variable rendimiento por tratamiento no mostraron diferencias significativas dentro de cada

uno de los experimentos (A y B), lo cual indica que las plantas de frijol bajo un estrés hídrico menor o igual al 40% no generan un aumento en su rendimiento. Esto puede ser causado debido a un fenómeno conocido como compensación de componentes; Ya que según lo afirmado por CIAT (1984) al aumentar un componente dentro de un sistema, los demás componentes son reducidos, por ejemplo, un aumento en el número de vainas por nudo, provocaría reducciones en el número de semillas por vaina, Asimismo la presencia del agua en el cultivo de frijol es de suma importancia para su crecimiento y rendimiento, y cuando esta es limitada ya sea por precipitaciones irregulares o condiciones de sequía dichos factores son drásticamente reducidos, caso que pudo observarse dentro de esta investigación (Fig.8).

Cuadro 10. Análisis de varianza (ANVA) para la variable rendimiento por tratamiento.

Experimento	F calculada	F tabla	
A	2.14	2.606	No significativo
B	1.39	2.606	No significativo

*Según prueba de Dunnet al 5%

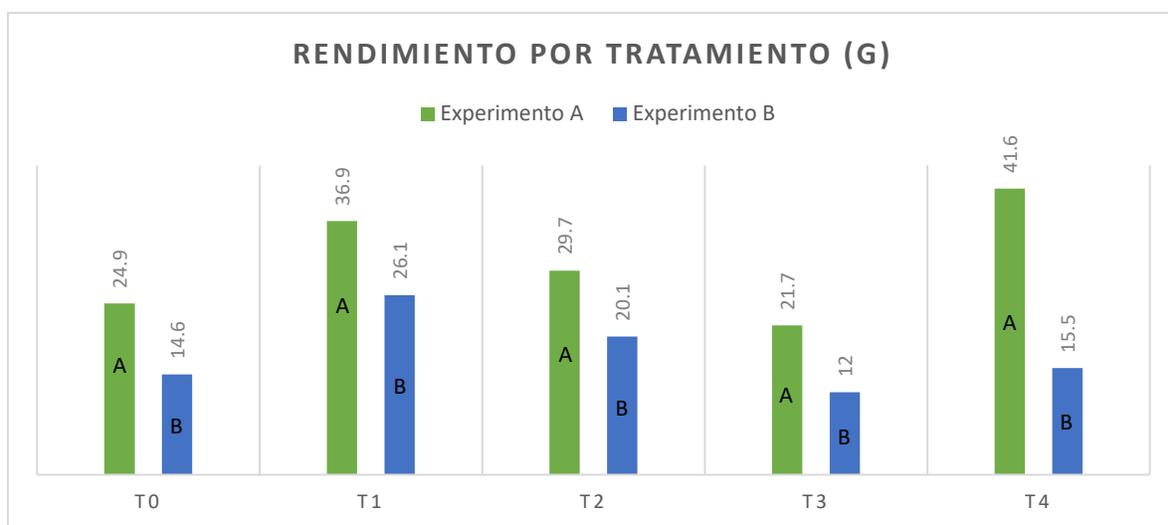


Figura 8. Rendimiento por tratamiento (g).

Fuente: N. Hernández (2021).

5.5 Número de vainas por tratamiento (nº vainas/tratamiento)

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 11) para la variable número de vainas por tratamiento no mostraron diferencias significativas dentro de cada uno de los experimentos (A y B), lo cual indica que una planta sometida a un estrés hídrico produce el mismo número de vainas como una respuesta de supervivencia, desviando recursos para su producción y mantenimiento. Con respecto al déficit hídrico fue desestimada la aplicación de agua durante los primeros 15 días de desarrollo, catalogados como un punto crítico para el desarrollo del cultivo de frijol, tratando de simular condiciones de campo en cuanto a efectos de sequía. Dicho

efecto no mostro diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, tanto para el experimento A como el B. Lo cual indica que el papel del ácido salicílico bajo estas condiciones puede involucrarse en diferentes vías metabólicas, tal como la producción de biomasa y la estimulación de yemas para el desarrollo de nuevas laminas foliares, precursoras a la etapa reproductiva y en consecuencia a la formación, llenado y aumento en el número de vainas. De acuerdo a Salisbury y Ross (1994), las modificaciones tenidas en el crecimiento de biomasa se deben a que el ácido salicílico (AS) fomenta la producción del ácido indolacético y de ácido naftalenacético que son reportados como los principales reguladores del crecimiento vegetal previa a la etapa reproductiva. Se observó también que solamente las vainas que emergieron al inicio de la floración lograron completar su ciclo de llenado, las vainas formadas previamente no lograron alcanzar su completo desarrollo (Fig.9).

Cuadro 11. Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de vainas por tratamiento.

Experimento	F calculada	F tabla	
A	1.31	2.606	No significativo
B	0.76	2.606	No significativo

*Según prueba de Dunnet al 5%

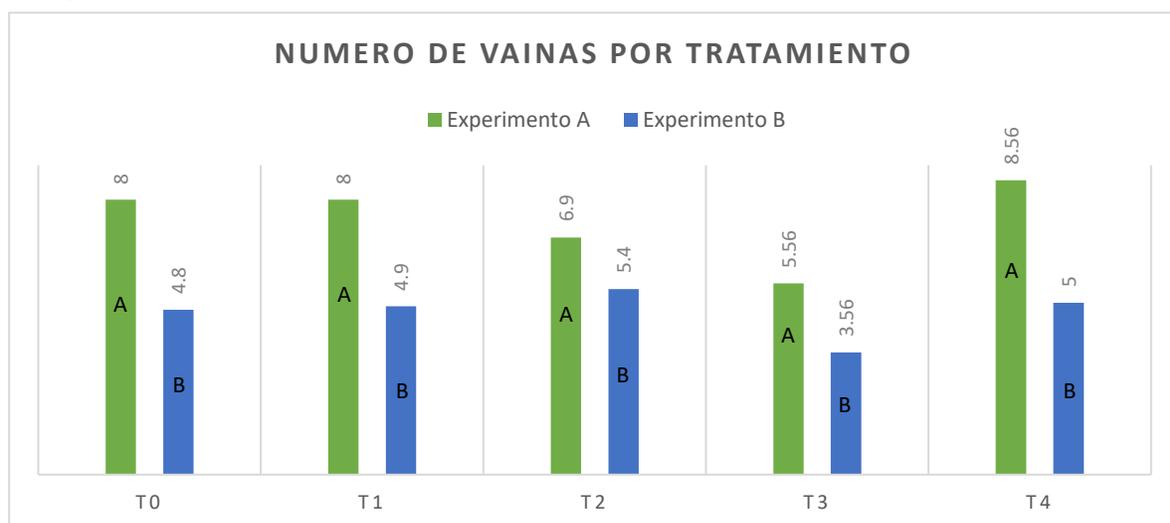


Figura 9. Número de vainas por tratamiento.

Fuente: N. Hernández (2021).

5.6 Número de semillas por tratamiento (nº semillas/tratamiento)

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 12) para la variable número de semillas por tratamiento reporto diferencias significativas únicamente para el experimento A y no así para el experimento B. Las plantas del tratamiento con solución de ácido salicílico (AS) a 100 ppm y un riego deficitario controlado de 171 mm fueron las que produjeron el mayor número de semillas con una media de 26.7 semillas por unidad experimental, ubicándose por encima de los demás

tratamientos (Fig.10). Según Araujo y Teixeira (2008), la removilización de nutrientes como el N desde los órganos vegetativos hacia los reproductivos juegan un papel fundamental en el rendimiento de grano de las leguminosas, dicha información posee afinidad con la publicada con Schiltz *et al.* (2005) quienes mencionan que la contribución de la removilización de N a las semillas varía de 70% en chicharos, de 43 a 94% en lentejas, 80% en habas y 84% en frijol común. Los resultados obtenidos para esta variable concuerdan para el caso del cultivo del trigo la aplicación de ácido salicílico (AS) en concentraciones de 1×10^{-2} y 1×10^{-8} M aumento, el número de granos por espiga, incrementando así el rendimiento agronómico con respecto al testigo (López *et al.*, 1998).

Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de semillas por tratamiento.

Experimento	F calculada	F tabla	
A	2.70	2.606	Significativo
B	0.61	2.606	No significativo

*Según prueba de Dunnet al 5%

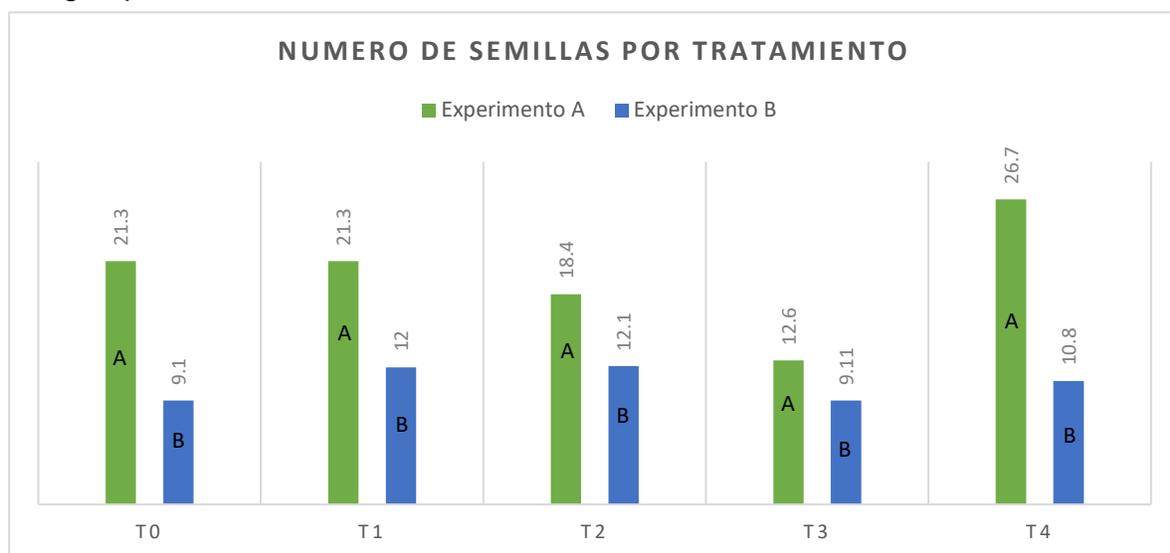


Figura 10. Numero de semillas por tratamiento.

Fuente: N. Hernández (2021).

5.7 Peso de 25 semillas

Con respecto al peso obtenido de 25 semillas de las plantas de frijol, se resalta que se obtuvo el mejor resultado en el tratamiento 1 (solución de ácido salicílico a 25 ppm y un riego deficitario controlado (RDC) de 134.66 mm) del experimento B con una media de 5.28 g.pl^{-1} mientras que el tratamiento con el menor peso obtenido fue el tratamiento 4 (solución de ácido salicílico a 100 ppm y un riego deficitario controlado (RDC) de 134.66 mm) del mismo experimento, con una media de 3.40 g.pl^{-1} . Dados estos resultados puede percatarse que existe una diferencia del 35.61% entre el dato mayor y menor de dicho experimento. Para el caso del experimento A el tratamiento que obtuvo el mejor resultado con respecto al peso fue

el tratamiento 1 (Solución de ácido salicílico a 25 ppm y RDC 171.00 mm) de igual forma que el experimento B con una media de 4.86 g.pl^{-1} , mientras que el tratamiento con menor peso dentro del experimento A fue el tratamiento testigo (Testigo únicamente con riego deficitario controlado (RDC) de 171 mm) con una promedio de 3.41 g.pl^{-1} , obteniendo una diferencia del 29.84% entre el dato mayor y menor de dicho experimento (Cuadro 13; Fig.11). Según Khan *et al* (2010) mostraron que la aplicación de 0.5 mM de ácido salicílico (AS) en el frijol verde aumenta el rendimiento del grano hasta un 23% en comparación con el testigo ya que el ácido salicílico (AS) aumenta la eficiencia del uso de agua y reduce la absorción de componentes tóxicos tales como sodio y el cloro, alivia el estrés y aumenta la fotosíntesis dando como resultado un aumento en la producción y la transmisión del material fotosintético a la semilla.

Cuadro 13. Peso promedio de 25 semillas (g)

Tratamiento	Experimento A	Experimento B
T0	3.41	3.93
T1	4.86	5.28
T2	4.10	4.35
T3	3.80	3.50
T4	4.42	3.40

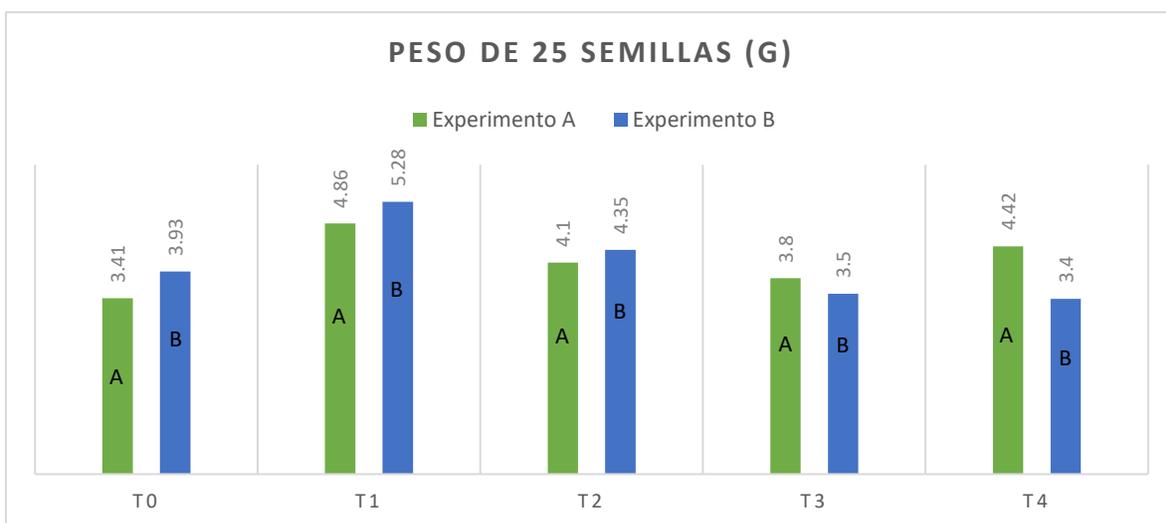


Figura 11. Peso de 25 semillas (g)

Fuente: N. Hernández (2021).

5.8 Número de flores por tratamiento (nº flores/tratamiento).

Para la variable número de flores por tratamiento los resultados del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 14), no mostraron diferencias significativas dentro de cada uno de los experimentos (A y B). Si comparamos el número de flores contabilizadas por cada uno de los experimentos. El mejor resultado obtenido por el experimento A fue el tratamiento 4 con una media de $12.67 \text{ flores.pl}^{-1}$ mientras que para el experimento B el mejor resultado lo obtuvo el tratamiento 2 con una media de 8.5

flores.pl⁻¹. Dados estos resultados puede percatarse que existe una diferencia del 32.91% entre el índice de floración de cada uno de los experimentos (Fig.12). Lo cual permite concluir que el nivel de déficit hídrico aplicado al cultivo del frijol en rangos menores o iguales al 40% es inversamente proporcional al número de flores producidas por planta. Para el caso del cultivo de la fresa (*Fragaria ananassa*) según Aguilar et al (2011) señala que el ácido salicílico (AS) induce el proceso de floración, ya que este actúa como un estimulador de la bioproduktividad de la fresa. Dato que puede compararse con el obtenido por Villanueva et al (2009) con el cultivo ornamental del crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura) el cual hace mención que el ácido salicílico (AS) genera un efecto notorio en la inducción a floración (aparición del capítulo floral) 37 DPT en comparación con el testigo en donde esto ocurre a los 43 días. Efecto que no pudo observarse dentro de esta investigación en el cultivo de frijol.

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de flores por tratamiento.

Experimento	F calculada	F tabla	
A	1.15	2.606	No significativo
B	1.78	2.606	No significativo

*Según prueba de Dunnet al 5%

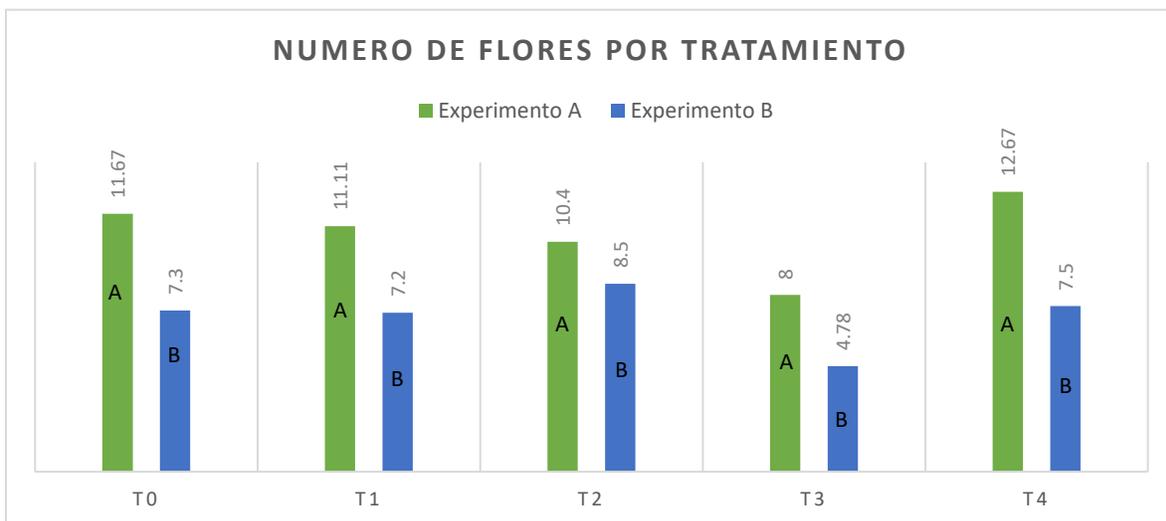


Figura 12. Numero de flores por tratamiento.
Fuente: N. Hernández (2021).

5.9 Diámetro de cuello de raíz (mm)

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 15) para la variable diámetro de cuello de raíz (mm), reportaron diferencias significativas únicamente para el experimento B y no así para el experimento A. Las plantas del tratamiento testigo a las cuales únicamente se les aplicó un riego deficitario controlado de 134.66 mm de agua, fueron las que produjeron el mayor diámetro de cuello de raíz

con una media de 3.23 mm.pl^{-1} ubicándose por encima de los demás tratamientos (Fig. 13) dentro del experimento B. Según Villanueva *et al* (2009). al trabajar con Crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura) demostraron que las plantas asperjadas con ácido salicílico (AS) obtuvieron un diámetro de tallo más grande con respecto al testigo incrementando de manera significativa el peso de materia fresca y seca de follaje, volumen de raíz y área foliar con los tratamientos a concentraciones de 1×10^{-2} y 1×10^{-8} M respectivamente. Del mismo modo Larqué-Saavedra *et al* (2010) determino que las plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) asperjadas con ácido salicílico (AS) a concentraciones de $1 \mu\text{M}$ o menores aumentan significativamente el crecimiento y desarrollo de su raíz y tallo. La respuesta positiva al tratamiento por ácido salicílico (AS) se detectó siete días después de la última aspersion, coincidiendo con los autores citados.

Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) para la variable diámetro de cuello de raíz (mm)

Experimento	F calculada	F tabla	
A	1.15	2.606	No significativo
B	2.73	2.606	Significativo*

*Según prueba de Dunnet al 5%

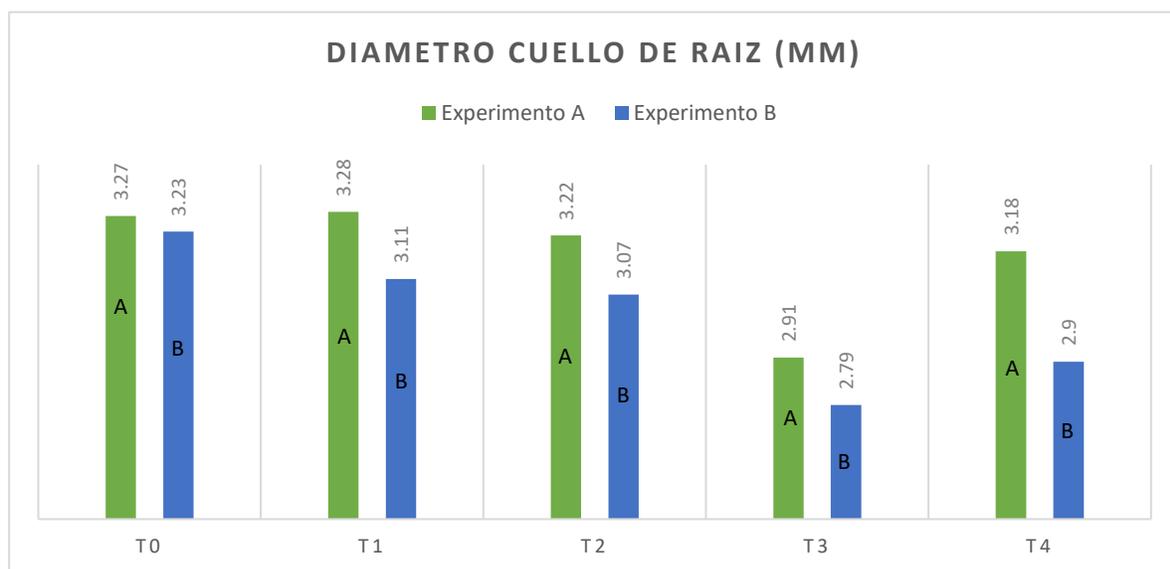


Figura 13. Diámetro cuello de raíz (mm).

Fuente: N. Hernández (2021).

5.10 Humedad parcial por tratamiento (%)

Según los resultados obtenidos en el cuadro 16 ; Se observó que en los experimentos A y B a concentración de 25 y 50 ppm (T1 Y T2) no hay diferencia significativa en la absorción de agua por la planta, lo que indica, que estas concentraciones de ácido salicílico (AS) no influyen directamente en la absorción de agua por los tejidos; sin embargo los tratamientos de 75 y 100 ppm actúan directamente sobre la absorción y el metabolismo del agua para el mantenimiento

de tejidos, lo cual, no necesariamente se ve reflejado como un aumento en el rendimiento, sino, que actúa como un mecanismo de defensa ante el estrés. El aumento de masa foliar que se menciona en plantas bajo estrés hídrico se debe a una mayor eficiencia fotosintética en la utilización de CO₂ y agua para formar nuevos tejidos (Fig. 14). Según Zambrano (2020) el ácido salicílico aplicado a plantas de acelga cambia el patrón de distribución de biomasa nueva producida donde a concentraciones bajas incrementa la acumulación de biomasa en hojas y a concentraciones mayores la incrementa en los tallos.

Cuadro 16. Análisis de varianza (ANVA) para la variable humedad parcial por tratamiento (%)

Experimento	F calculada	F tabla	
A	0.30	2.606	No significativo
B	1.27	2.606	No significativo

*Según prueba de Dunnet al 5%

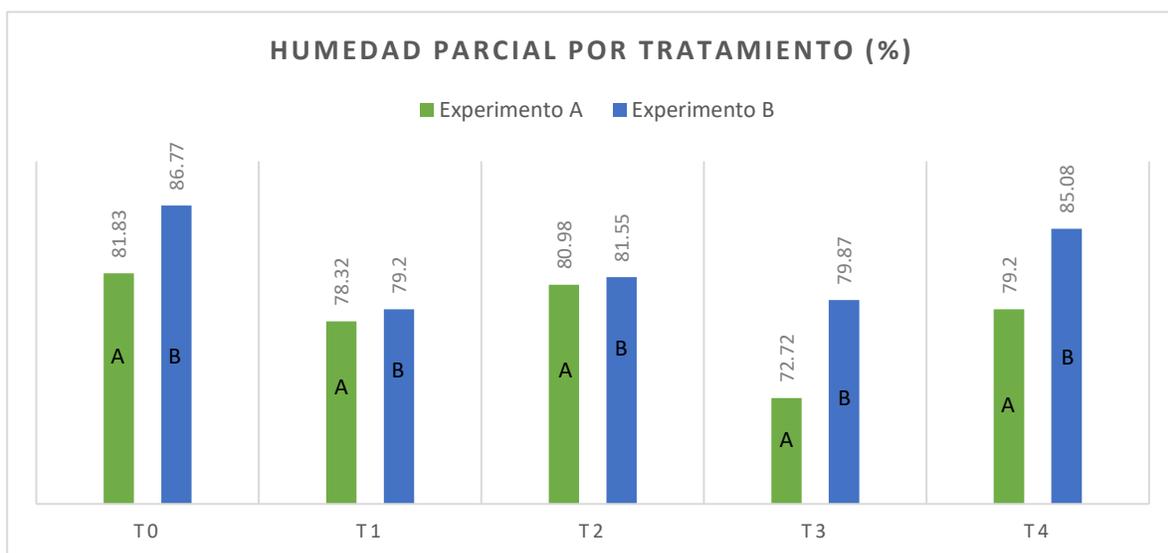


Figura 14. Humedad parcial por tratamiento (%).

Fuente: N. Hernández (2021).

5.11 Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una hectárea)

Aplicando la metodología de presupuesto parcial (Cuadro 17), se pudo apreciar que el tratamiento 4 del experimento A obtuvo el mejor beneficio neto, lo que indica que a una concentración de 100 ppm bajo condiciones de estrés hídrico menores o iguales al 25 % el beneficio se incrementa en \$200.20. Para el caso del experimento B el tratamiento que obtuvo el mejor beneficio neto fue el tratamiento 1, indicando así que a una concentración de 25 ppm en valores menores o iguales al 40% de estrés hídrico el beneficio neto se incrementa en \$137.67, ambos con respecto al testigo.

Cuadro 17. Análisis de presupuesto parcial (Proyectado para una hectárea).

Experimento A		
Tratamientos	Costo manejo (USD)	Beneficio neto (USD)
T0 vs T1	\$ 0.30	+\$ 143.68
T0 vs T2	\$ 0.30	+\$ 57.30
T0 vs T3	\$ 0.30	-\$ 38.70
T0 vs T4	\$ 0.30	+\$ 200.20
Experimento B		
Tratamientos	Costo manejo (USD)	Beneficio neto (USD)
T0 vs T1	\$ 0.30	+\$ 137.67
T0 vs T2	\$ 0.30	+\$ 65.40
T0 vs T3	\$ 0.30	-\$ 31.60
T0 vs T4	\$ 0.30	+\$ 10.30

Fuente: N. Hernández (2021).

6 CONCLUSIONES

- La aplicación de ácido salicílico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), produjo un efecto potenciador a la resistencia de estrés hídrico bajo condiciones de riego deficitario controlado.
- El ácido salicílico aplicado en concentraciones de 25 y 100 ppm fueron las que aportaron los mejores resultados como inductores de resistencia al estrés hídrico en rangos menores o iguales al 40%.
- Se observó el efecto conocido como compensación de componentes como una respuesta de la planta al estrés en ambos experimentos.
- En condiciones de estrés hídrico las aplicaciones exógenas de ácido salicílico, es una alternativa viable para evitar pérdidas económicas considerables en el cultivo.
- A medida que aumenta el estrés hídrico en la planta, la utilización de ácido salicílico por parte de esta es inversamente proporcional a la concentración aplicada.
- La aplicación de ácido salicílico demostró ser una alternativa viable para el manejo sostenible del cultivo.

7 RECOMENDACIONES

- Continuar realizando investigaciones sobre la inducción de resistencia al estrés hídrico con ácido salicílico (AS) en otros cultivos de importancia agrícola, para obtener mayores evidencias de sus efectos inductores.
- Evaluar las diferentes concentraciones empleadas en esta investigación bajo diferentes tipos de escenarios como por ejemplo el efecto de inducción de resistencia que genera el ácido salicílico bajo diferentes tipos de fertilización (orgánica y convencional) y comparar el efecto de estos y sus interacciones.
- Mantener una vigilancia fitosanitaria constante del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la variedad CENTA Sequia para prevenir la incidencia de plagas y enfermedades que puedan llegar a afectar su rendimiento y desarrollo.
- Considerar futuras investigaciones a nivel de campo para conocer el efecto inductivo de resistencia al estrés hídrico que aporta el ácido salicílico bajo diferentes gradientes de estrés que sirvan de patrón de comparación con esta investigación.
- Evaluar otros tipos de agentes inductores de resistencia a estrés ambiental en el cultivo de frijol.

8 BIBLIOGRAFÍAS

- Aguilar.2011. Efecto del ácido salicílico en la bioproductividad de la fresa (*Fragaria ananassa*). (en línea). Consultado 11 enero. 2022. Disponible en <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Efecto+del+%C3%A1cido+salic%C3%ADlico+en+la+bioproductividad+de+la+fresa+%28Fragaria+ananassa%29>
- Allevato, M. 2008. Ácido salicílico. División Dermatología. Hospital de clínicas “José de San Martín”. (en línea). Consultado 10 ago. 2021. Disponible en https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&act=8&ved=2ahUKEwjwdf39r1AhU3D0QIHXgEAtoQFnoECAYQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.atdermae.com%2Fpdfs%2Ffatd_31_02_06.pdf&usg=AOvVaw01pr2U8AYHurvPJa57knk6
- Araujo y Texeira. 2008. Aspectos agronómicos y bromatológicos de leguminosas en el nordeste brasileño. (en línea). Consultado 11 enero. 2022. Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Aspectos-agron%C3%B4micos-e-bromatol%C3%B3gicos-de-no-Teixeira-Dubeux/24ff4a0d622260db4d22d61fb335e9696427c9b8>
- BCN (Banco Central de Nicaragua). (2020). Anuario de estadísticas macroeconómicas. (en línea). Consultado 15 ago. 2021. Disponible en <https://www.bcn.gob.ni/cuadros-de-anuario-de-estadisticas-macroeconomicas-1960-2020>
- Castaño.J.1994. Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. 3ª edición. Editorial Zamorano academic Press. Honduras. Centro América. 269p.
- Cano.G.2016. Evaluación de tres extractos vegetales para el control de plagas en el cultivo de frijol arbustivo *Phaseolus vulgaris* L. (en línea). Consultado 15 sep.2021. Disponible en <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2859>
- Campos, J. 2017. Evaluación del efecto del ácido salicílico en los niveles intra y extracelulares de peróxido de hidrógeno en las suspensiones celulares de *C. chinense* JACQ. (en línea). Consultado 11 ago. 2021. Disponible en https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&act=8&ved=2ahUKEwi7ILaf4Nr1AhVzlkQIHQD1DPsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fciicy.repositorioinstitucional.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F1003%2F861%2F1%2FPCB_M_Tesis_2017_Chan_Campos_Julieta.pdf&usg=AOvVaw3bzG5RRwVghTRR6nOFSy_z
- CENTA (Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2018. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). (en línea). Consultado 14 sep. 2021. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/2015/frijol/>

- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2001. El impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica. (en línea). Consultado 28 dic. 2021. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/25574-impacto-socioeconomico-ambiental-la-sequia-2001-centroamerica>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1984. Frijol: Investigación y producción. (en línea). Consultado 17 jul. 2021. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/77975>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). (en línea). Consultado 10 sep. 2021. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/ciat/28093.pdf
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1992. Manejo integrado de plagas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). (En línea). Consultado 12 ene. 2021. Disponible. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/SB_327_U5_Vol.1.pdf
- Cronje, M.J. and L. Bornman. 1999. Salicylic acid influences Hsp70/Hsc70 expression in *Lycopersicon esculentum*: dose-and time-dependent induction or potentiation. (en línea). Consultado 25 oct. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006291X99916923?via%3Dihub>
- Dat, J.F., López, H., Foyer, C.H., and I.M Scott. 1998. Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiol.* 116: 1351-1357.
- Delaney T. P., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., Gaffney, T., Gutrella, M., Kessmann, H., Ward E., & J Ryals. 1994. A central role of salicylic acid in plant disease resistance. (en línea). Consultado 20 oct. 2021. Disponible en https://www.science.org/doi/10.1126/science.266.5188.1247?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed
- DGSVA-MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Economía Agropecuaria). 2019. Anuario de estadísticas agropecuarias. (en línea). Consultado 30 oct. 2019. Disponible en https://www.google.com/search?q=Anuario+de+estad%C3%ADsticas+agropecuarias&rlz=1C1GCEU_esSV926SV926&ei=Sgf4YaaLBO-MwbkP_YaCsAk&ved=0ahUKEwim2Ofprdz1AhVvRjABHX2DAJYQ4dUDCA4&uact=5&oq=Anuario+de+estad%C3%ADsticas+agropecuarias&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBQgAEIAEMgYIABAWEB5KBAhBGAFKBAhGGABQrA1YrA1gjRh oAnAAeACA AWiSAQMwLjGYAQCgAQGgAQKwAQDAAQE&sclient=gws-wiz

- Díaz Gálvez, MG. 2001. Caracterización genética de la resistencia del frijol común a la mancha angular. (en línea). Tesis Ing. Agr. Honduras, El Zamorano. 61p. Consultado 15 oct 2021. Disponible en <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1438/1/T1296.pdf>
- Draper, J. 1997. Salicylate, superoxide synthesis and cell suicide in plant defense. (En línea). Consultado 20 oct. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138597010303>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Nuestras legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones. (en línea). Consultado 7 nov. 2021. Disponible en <https://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (s.f.). Operaciones postcosecha. (en línea). Consultado 6 mar. 2021. Disponible en <https://www.fao.org/publications/card/en/c/f961bcd6-85db-405e-af70-3ed044f1b1d7/>
- FAO (Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Beneficios de las legumbres para la salud. (en línea). Consultado 6 may. 2021. Disponible en <https://www.fao.org/publications/card/en/c/56753f84-51b1-48c7-8f2e-533e75813db7/>
- Fernández, F. (s.f.). Etapas de desarrollo en la planta de frijol. (en línea). Consultado 11 abril. 2021. Disponible en <https://es-static.z-dn.net/files/df7/f44f88aec0f1e765e551f2546ce57d5d.pdf>
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). (2019). Panorama Agroalimentario: Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (en línea). Consultado 17 jun. 2021. Disponible en <https://www.gob.mx/fira/documentos/panorama-agroalimentario>
- Gallardo, A.; C. Vasquez; J. Morales & J. Gallardo. 2005. Biología y enemigos naturales de *Tetranychus urticae* en pimentón. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Costa Rica, 74: 34-40.
- Gómez, B. 2010. Ácido salicílico, inductor de resistencia a sequía en canola de riego bajo labranza reducida. (en línea). Consultado 6 jun. 2021. Disponible en https://issuu.com/mauriciomoreno59/docs/acido_salicilico_inductor_de_resist
- Gugole, M. 2013. Manejo integrado de la plaga *Tetranychus urticae* (Acari:Tetranychidae) en cultivos de frutilla del cinturón hortícola platense. (en línea). Consultado 12 ene. 2022. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/31297>

- Gutiérrez, M.A., Trejo C., y A. Larqué. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. (en línea). Consultado 10 nov. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S098194289880003X>
- Hernández. 2013. Origen, Domesticación y Diversificación del Frijol Común, Avances y perspectivas. (en línea). Consultado 10 jun. 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n2/v36n2a2.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2009. Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepeque y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua. (en línea). Consultado 8 jun. 2021. Disponible en <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2014. Estudio de las cadenas de valor maíz blanco y frijol en Centroamérica. (en línea). Consultado 28 jun. 2021. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3540e/b3540e.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2019). Encuesta nacional agropecuaria con enfoque en granos básicos y cultivos permanentes (Maíz, Frijol, Arroz, Café, Caña de azúcar, Hule, Palma africana). (en línea). Consultado 28 may. 2021. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2021/01/22/20210122164213QDinUvuRa9GjopyXaTuNMXc3gd6Jq1Q1.pdf>
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2020). Anuario de estadísticas agropecuarias de Costa Rica. (en línea). Consultado 28 may. 2021. Disponible en <https://www.inec.cr/>
- Janda, M. y E. Ruelland (2015). Magical mystery tour: Salicylic acid signaling. (en línea). Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847214001737>
- Kavousi, A.; H. Chi; K. Talebi; A. Bandani; A. Ashouri & V.H. Naveh. 2009. Demographic Traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on leaf disc and whole leaves. *Journal of Economic Entomology*, 102(2): 595-601.
- Khan, N.A., Syeed. S., Masood, A., Nazar, R., Iqha, N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. (en línea). Consultado 27 dic. 2021. Disponible en <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/9975>
- Larqué, A., R. Martín-Mex, A. Nexticapan-Garcéz, S. Vergara-Yoisura y M. Gutiérrez-Rendón. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). (en línea). Consultado 12 dic. 2021. Disponible en

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000300006

- León. J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. (en línea). Consultado 17 may. 2021. Disponible en https://books.google.com/sv/books?id=NBtu79LJ4h4C&pg=PA191&lpg=PA191&dq=ramificacion+del+frijol&source=bl&ots=_ebAMpYrSE&sig=JRMI1BgiqYI7GNmDb7NvNI0hAgA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwju6laOzPLLAhUCHB4KHxfOBSUQ6AEIGjAA#v=onepage&q=ramificacion%20del%20frijol&f=false
- López, R; V, Camacho; M, Gutiérrez. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. (en línea). Consultado 22 ago. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316105>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2019). Costos de producción de cultivos agrícolas. Consultado 15 ago. 2021. Disponible <https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/INFORME-COSTOS-2018-2019.pdf>
- MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería; Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). (2008). Guía técnica para el manejo de variedades de frijol; programa de granos básicos. (en línea). Consultado 12 mar. 2021. Disponible en <https://fddocuments.es/download/2011-centa-guia-tecnica-para-el-manejo-de-las-variedades-de-frijol>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2021). Sequía meteorológica. Consultado 28 dic. 2021. Disponible <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/sequia+meteorologica/>
- Molina, J. 2013. Evaluación de inductores de resistencia, para el control del Lepidópteros y tolerancia a estrés hídrico en Brócoli (***Brassica oleracea*** L. var. *italica*) y en ***Arabidopsis thaliana*** (L.) Heynh. Cumbaya, Pichincha. (en línea). Tesis. Ing. Agr. Quito. Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 112p. Consultado 2 sep. 2021. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1024/1/T-UCE-0004-25.pdf>
- Martin-Mex., A. Nexticapan-Garces., R, Herrera-Tuz, S. Vergara-Yoisura y A. Larque-Saavedra .2012. Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad de papaya (***Carica papaya***). Consultado 9 sep. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263124770013>
- Raskin, I. 1992. Role of Salicylic Acid in Plants. (en línea). Consultado 6 sep. 2021. Disponible en <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
- Rivas.1996. Evaluación en ***Phaseolus vulgaris***, del antagonismo por bacterias e inducción de resistencia de un fosfato, hacia ***Isariopsis griseola*** y ***Uromyces***

- phaseoli***. (en línea). Consultado 15 sep. 2021. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5087>
- Rivas.2017. Manejo Integrado de Plagas. 1ª edición. Editorial Sinaí. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (UES). Facultad de ciencias agronómicas. 296p.
- Sabater, J. (2013). Estudio de las respuestas de defensa inducidas por elicitores en cultivos vegetales. (en línea). Consultado 13 nov. 2021. Disponible en <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/117856/TABSJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salisbury, FB; Ross. 1994. Fisiología vegetal. (en línea). Consultado 13 nov 2021. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v23n2/a04v23n2.pdf>
- SC (Superintendencia de competencia, gobierno de El Salvador). (2014). Caracterización de la agroindustria del frijol rojo y sus condiciones de competencia en El Salvador. (en línea). Consultado 8 jun. 2021. Disponible en https://www.sc.gob.sv/uploads/est_25_inf.pdf
- SEN (Sistema Estadístico Nacional). (2020). Anuario de estadísticas agropecuarias. (en línea). Consultado 28 may. 2021. Disponible en <https://www.ine.gob.hn/publicaciones/anuarios%20sen/Anuariosen2015-2019/3SectorEconomicos.html>
- Shiratsu, K., Nakajima, H., Rajasekhar, V.K., Dixon, R.A., and C. Lamb. 1997. Salicylic acid potentiates an agonist-dependent gain control that amplifies pathogen signals in the activation of defense mechanisms. *Plant Cell* 9: 261-270.
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales).2020. Clima en el Salvador. (En Línea). Consultado el 4 de abril. Disponible en: <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/#:~:text=De%201%2C200%20a%20%2C700%20metros&text=a%2010%20C%20en%20valles,de%20Chalatenango%2C%20con%20%2C700%20metros.>
- Sunkar, R., V.V. Chinnusamy, J. Zhu y J.K. Zhu (2007). Small RNAs as big players in plant abiotic stress responses and nutrient deprivation. (en línea). Consultado 6 nov. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138507001276>
- Schultz.2007. Effects of salicylic acid on the bioproductivity of the plants. In: *Salicylic acid*. Springer publishers Dordrech Netherlands 15-23 p.
- Tambusi, E. A. (2004). Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. (en línea). Consultado 7 nov. 2021. Disponible en https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/941/01.EAT_Part_1_2_Introduccion_Objetivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ulloa, J., P. Rosas., J. Ramírez., B. Ulloa. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): Su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. (en línea). Consultado 7 jun. 2021. Disponible en <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/1.pdf>
- Villanueva E., Alcantar G., Sánchez P., Fregoso M., y Larque A. 2009. Effect of salicylic acid and dimethyl sulphoxide in the flowering of ***Chrysanthemum morifolium*** (Ramat) Kitamura in Yucatan. (en línea). Consultado 20 nov. 2021. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000400005
- Wildermuth, M. C., Dewdney, J., WU G., & F. M. Ausubel. 2001. Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defense. (en línea). Consultado 25 nov. 2021. Disponible en <https://www.nature.com/articles/35107108>
- Yan, S. y X. Dong (2014). Perception of the plant immune signal salicylic acid. (en línea). Consultado 14 nov. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369526614000533>
- Zambrano, R. 2012. Efecto del Ácido Salicílico en el Crecimiento y Desarrollo de un Cultivo de Acelga (***Beta vulgaris*** L. var. ***fordhook***). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (UAAAN). Saltillo, Coahuila, México. 69p.

9 ANEXOS

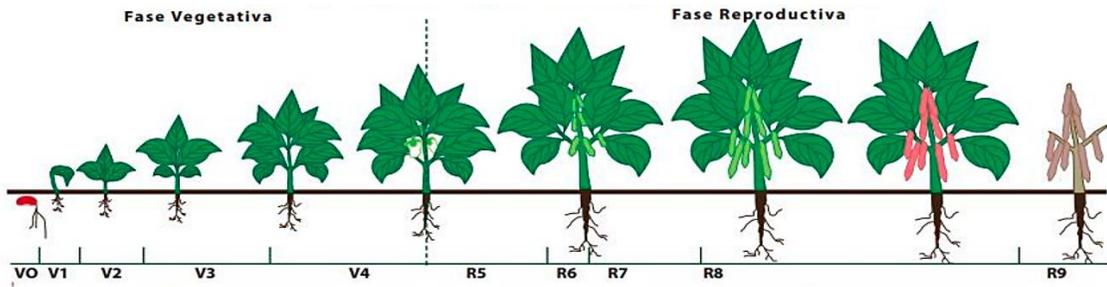


Fig. A- 1. Fase fenológica del frijol (*Phaseolus vulgaris*).



Fig. A- 2. Germinación.



Fig. A- 3. Emergencia.



Fig. A- 4. Hojas primarias.



Fig. A- 5. Primera hoja trifoliada.



Fig. A- 6. Tercera hoja trifoliada.



Fig. A- 7. Prefloración.



Fig. A- 8. Floración.



Fig. A- 9. Formación de vainas.



Fig. A- 10. Llenado de vainas.



Fig. A- 11. Madurez fisiológica.
Fuente: Google imágenes



Fig. A- 12. Preparación del área experimental.



Fig. A- 13. Delimitación del área experimental.



Fig. A- 14. Material utilizado para la siembra.



Fig. A- 15. Siembra.





Fig. A- 16. Proceso de fertilizacion



Fig. A- 17. Cosecha.



Fig. A- 18. Almacenamiento de semilla



Fig. A- 19. Prueba de germinación.



Fig. A- 20. Elaboración de soluciones de ácido salicílico (AS)



Fig. A- 21. Aplicación de ácido salicílico (AS)

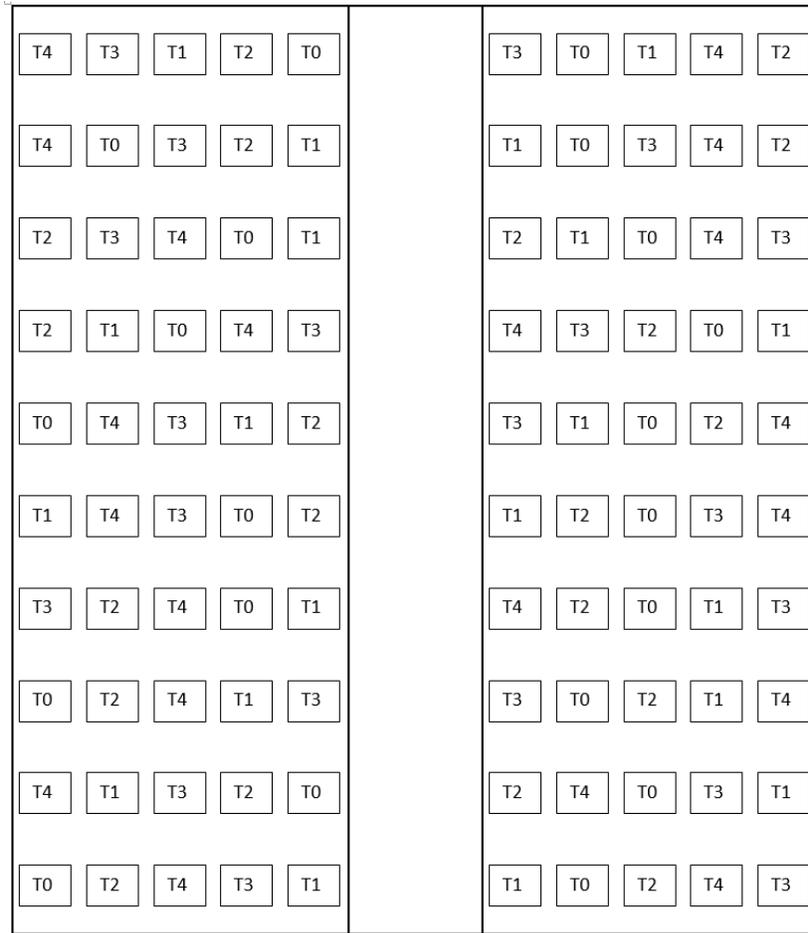


Fig. A- 22. Distribución de experimentos A y B respectivamente



Fig. A- 23. Araña roja (*Tetranychus urticae*)



Fig. A- 24. Aplicación de azufre



Fig. A- 25. Trips (*Thrips sp*)



Fig. A- 26. Aplicación de insecticida orgánico.



Fig. A- 27. Mildiu polvoriento (*Oidium sp*).

RESUMEN DE CALCULOS.

9.1 Cálculo de numero de semillas a sembrar según % de germinación.

$$\text{Semillas a sembrar} = \frac{\text{Cant requerida}}{\% \text{ germinacion}} \times 100$$

$$\text{Semillas a sembrar} = \frac{200 \text{ plantas}}{80 \%} \times 100$$

$$\text{Semillas a sembrar} = 250 \text{ semillas}$$

9.2 Cálculo de volumen de suelo franco arenoso para llenado de depósitos plásticos.

Datos.

# Plantas	100
Tamaño deposito	22 cm x 19 cm x 28 cm
Densidad aparente	1.5 g/cm ³ = 1500 kg/m ³

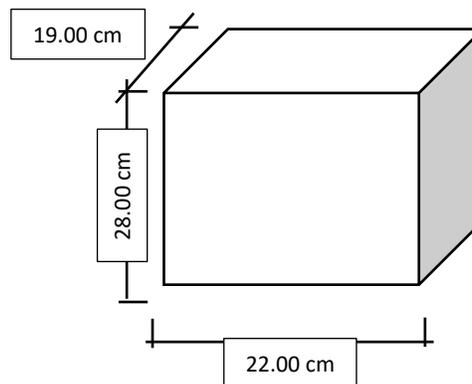


Fig. A- 28. Diagrama de depósitos plásticos.

Fuente: N. Hernández (2021).

Como primer paso se calcula el volumen de sustrato que puede contener el depósito.

$$\text{Volumen de sustrato} = L \times L \times L$$

$$\text{Volumen de sustrato} = 22\text{cm} \times 28\text{cm} \times 19 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen de sustrato} = 11.704 \text{ cm}^3/\text{deposito}$$

Luego se calcula el volumen total que se utilizara para las 100 plantas (m^3).

$$100 \text{ depósitos} \times 11.704 \text{ cm}^3 / 1 \text{ deposito}$$

$$x = 1,170,40 \text{ cm}^3 / \text{sustrato}$$

Convertir cm^3 a m^3

$$1m^3 = 1000000 \text{ cm}^3$$

$$\left(1,170,400 \frac{\text{cm}^3}{\text{sustrato}} \right) = \left(\frac{1m^3}{1000000 \text{ cm}^3} \right) = \mathbf{1.1704 \text{ m}^3 \text{ sustrato}}$$

Finalmente se calcula la masa del sustrato en base a la densidad aparente expresada en kg/cm^3 para obtener la cantidad de sustrato a utilizar en kilogramos.

$$\text{Masa del sustrato} = \text{Volumen sustrato} \times \text{Densidad aparente}$$

$$\text{Masa del sustrato} = 1.1704 \text{ m}^3 \text{ sustrato} \times 1500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa del sustrato} = \mathbf{1755,6 \text{ Kg sustrato}}$$

9.3 Preparación de diluciones de Ácido salicílico (AS).

Para la preparación de las diluciones utilizadas en esta investigación, se realizó la dilución de una solución madre de ácido salicílico a una concentración de 1000 ppm. El procedimiento utilizado se describe a continuación.

Como primer paso se realizó la conversión de ppm a molaridad de la solución madre de ácido salicílico a 1000 ppm y de cada una de las soluciones de interés (25,50,75, 100 ppm).

Solución madre (1000 ppm a Molaridad)

Cálculo de peso atómico del ácido salicílico ($C_7H_6O_3$).

$$C = 12.0107 \times 7 = 84.0749 \text{ g/mol}$$

$$H = 1.00794 \times 6 = 6.04764 \text{ g/mol}$$

$$O = 15.9994 \times 3 = 47.9982 \text{ g/mol}$$

$$\Sigma = 84.0749 + 6.04764 + 47.9982 = 138.12074 \text{ g/mol} \approx \mathbf{138.121 \text{ g/mol}}$$

Cálculo de gramos existentes en la solución madre a 1000 ppm utilizando la siguiente formula.

$$\text{ppm} = \text{mg/l}$$

$$\text{mg de } C_7H_6O_3 = (\text{ppm})(l)$$

$$\text{mg de } C_7H_6O_3 = (1000)(1)$$

$$\mathbf{\text{mg de } C_7H_6O_3 = 1000}$$

Convirtiendo mg a g tomando en cuenta que (1g = 1000 mg)

$$(1000 \text{ mg de } C_7H_6O_3) \left(\frac{1g}{1000 \text{ mg}} \right) = 1 \text{ g de } C_7H_6O_3$$

Cálculo de moles de la solución madre utilizando la formula. $n = \text{masa} / \text{peso atómico}$.

$$n = 1 \text{ g de } C_7H_6O_3 / 138.121 \text{ g/mol}$$
$$n = 0.007240028 \text{ mol}$$

Cálculo de molaridad de la solución madre utilizando la formula. $M = n/vol$.

$$M = n/vol$$
$$M = 0.007240028 \text{ mol/l}$$
$$M = 0.007240028 \text{ mol/l}$$

Siguiendo de igual forma el procedimiento anterior se obtuvo la Molaridad de cada una las soluciones de interés (25,50,75 y 100 ppm).

Cuadro A- 1. Molaridad de soluciones de interés (25,50,75 y 100 ppm)

Partes por millón (ppm)	Molaridad (M)
25	0.000181
50	0.000362001
75	0.000543002
100	0.000724002

Fuente: N. Hernández (2021).

Luego utilizando la siguiente formula $Ci_{(M)}Vi = Cf_{(M)}Vf$ se calculó el volumen inicial necesario a extraer de la solución madre para realizar cada una de las diluciones de interés (25,50,75 y 100 ppm) utilizadas en esta investigación, dicho procedimiento se describe a continuación.

Calculo para una dilución a 100 ppm.

Datos.

$$Ci_{(M)} = 0.007240028 \text{ M}$$

$$Vi = ?$$

$$Cf_{(M)} = 0.000724002 \text{ M}$$

$$Vf = 1 \text{ l} = 1000 \text{ ml}$$

$$C_{i(M)}V_i = C_{f(M)}V_f$$

$$V_i = C_{f(M)}V_f / C_{i(M)}$$

$$V_i = (0.000724002M)(1000 \text{ ml}) / 0.007240028M$$

$$V_i = 0.724002M/L / 0.007240028M$$

$$V_i = \mathbf{100 \text{ ml de SM}}$$

Repitiendo el procedimiento anterior se obtuvo la cantidad de mililitros a extraer de la solución madre para luego ser diluidos en 1 litro de agua y obtener así cada una de las soluciones de interés (25,50,75 y 100 ppm).

Cuadro A- 2. Mililitros de solución madre a utilizar en soluciones de interés

Partes por millón (ppm)	ml de SM a utilizar
25	25
50	50
75	75
100	100

Fuente: N. Hernández (2021).