

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Calidad Fisiológica y Sanitaria de Semillas de Frijol Pinto Saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) Almacenadas en Dos Tipos de Contenedores Semi-herméticos

Por:

JHONATAN IVÁN JUÁREZ LUNA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Calidad Fisiológica y Sanitaria de Semillas de Frijol Pinto Saltillo (*Phaseolus vulgaris*
L.) Almacenadas en Dos Tipos de Contenedores Semi-herméticos

Por:


JHONATAN IVÁN JUÁREZ LUNA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

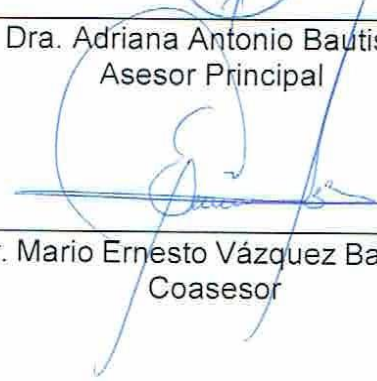
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Adriana Antonio Bautista
Asesor Principal



Dr. David Sánchez Aspeytia
Asesor Principal Externo



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coasesor



M.P. Víctor Manuel Villanueva Coronado
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2025

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito, Jhonatan Iván Juárez Luna, estudiante de nivel licenciatura de la especialidad Ingeniero Agrónomo en Producción, con matrícula 41202367, autor de la presente Tesis, manifiesto que:

1. Reconoce que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente tesis, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor, materiales bibliográficos consultados por cualquier vía, y manifiesto no haber hecho mal uso de alguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance del comité de asesoría, está suscrito a la orientación y guía, respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente Tesis; así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi Comité de Asesoría, aceptando cualquier responsabilidad al respecto es únicamente a mi persona.



Jhonatan Iván Juárez Luna
Tesista de licenciatura

DEDICATORIA

A Dios

Agradezco profundamente a Dios, quien ha sido mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría a lo largo de este proceso. Su amor y dirección me han permitido superar desafíos, mantener la fe y alcanzar esta meta. Gracias por darme la oportunidad de aprender, crecer y cumplir este sueño. Que Su voluntad siga iluminando mi camino.

A mis padres

Antonio Juárez Flores

Isaura Luna Alcalá

A mis queridos padres, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sabiduría han sido la base de todo lo que soy. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí incluso en los momentos de duda, y por enseñarme el verdadero significado de la perseverancia y la dedicación. Esta tesis es tan suya como mía, porque sin su sacrificio, aliento y ejemplo, no habría llegado hasta aquí. Les debo todo mi éxito y les dedicaré cada logro que alcance en el futuro.

A mi hermano

Luis Antonio Juárez Luna

A mi hermano, gracias por tu apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y por ser una fuente constante de motivación. Tu aliento, tus consejos y tu confianza en mí me han dado la fuerza necesaria para continuar adelante. Este logro también es tuyo, porque siempre has estado allí para celebrarlo conmigo y para recordarme lo capaz que soy.

A mi abuela

Celestina Flores Cedeño

A mi abuela, mi segunda madre, quien con su amor, sabiduría y ternura ha sido una guía fundamental en mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, por tu apoyo incondicional y por enseñarme, no solo con palabras, si no con cada uno de tus gestos, lo que significa la fortaleza y el cariño verdadero. Esta tesis es el reflejo de todo lo que me has dado y me has enseñado. Te dedico este logro con todo mi corazón, porque sin ti, nada de esto hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

A mi gloriosa ALMA TERRA MATER, gracias por permitirme ser parte de ti y darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional, la cual abrigo con un profundo cariño, 9por ser el lugar en donde crecí, aprendí y me formé tanto académica como personalmente. A todos los maestros y compañeros que hicieron parte de este camino, les agradezco de corazón por su apoyo constante, por motivarme a seguir adelante y por ser parte fundamental de mi futuro profesional.

A mis tías

Araceli Juárez Flores, Tomasa Juárez Flores y Lizbeth Jacquelin Luna Alcalá

Gracias por ser una guía constante en mi vida, por tu amor, apoyo incondicional y por siempre estar allí en cada paso de este camino. Tu sabiduría, paciencia y generosidad me han ayudado a crecer no solo como estudiante, sino también como persona.

A mi amigo incondicional

A **Diego Gutiérrez** por estar siempre a mi lado, por ser mi compañero incansable y por darme apoyo incondicional en cada etapa de este camino. Tu amistad ha sido una fuente constante de motivación y fuerza. En los momentos difíciles, tu aliento me dio la energía para seguir adelante, y en los buenos momentos, tu alegría hizo todo más llevadero. Esta tesis es también tuya, porque sin tu presencia, consejos y confianza,

no hubiera llegado hasta aquí. Te agradezco por ser mi amigo, por creer en mí y por hacerme sentir que no estoy solo en este viaje.

A mis amigos y personas especiales, Por acompañarme y brindarme su apoyo durante esta hermosa etapa: Gisela Hernández, Luis Cruz, Aarón Cárdenas, Jesús Zacarías, Benito Ortega, Bryan Olivo, Kevin Cruz, Ángel Onan, Sacramento Gómez, Luis Neri, Carmen Maldonado, Arely Gómez, Stephany Casales, Jhoselyn Ancona, Jesica Santana, Guadalupe Medina, Maritza Martínez, Miguel Raya, Brayan Martínez, Iván Beltrán, Axel Velázquez, Víctor Genis, José Moreno, Diego Morales, Ricardo Juárez, Marco Juárez, Alejandro Juárez, Cesar Martínez, Azul Sosa, Adrián Terán, Daniela Pliego, Diego Perdomo, Josué Ramírez, Miguel Jiménez, Asveide Hernández, Josué García, Yareli García, Ángel Maldonado.

A la Dra. Adriana Antonio Bautista

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesora de tesis, por su invaluable apoyo, dedicación y paciencia durante todo este proceso. Su orientación y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y su capacidad para motivarme en los momentos más desafiantes ha sido una fuente constante de inspiración. Agradezco profundamente el tiempo que ha invertido en orientarme, su apertura para escuchar mis ideas y sugerencias, así como su compromiso con la excelencia académica. Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Hipótesis	2
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades del Cultivo	3
2.2 Clasificación Taxonómica	3
2.3 Morfología	4
2.4 Requerimientos edafoclimáticos	5
2.5 Importancia del cultivo	6
2.6 Importancia Económica	7
2.7 Superficie y Producción en México	8
2.8 Factores que influyen en el almacenamiento	9
2.9 Perdidas por almacenamiento	11
2.10 Preceptos de Almacenamiento	12
2.11 Almacenamiento de Semillas y Granos de Frijol	14
2.12 Tipos de Almacenamiento	14
2.13 Contenedores de Almacenamiento	17
2.14 Parámetros de Calidad	18
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Ubicación del sitio experimental	21

3.2 Material Genético	21
3.3 Acondicionamiento del Material Genético	21
3.4 Contenedores de Almacenamiento	21
3.5 Condiciones de Almacenamiento	22
3.6 Preparación de las Muestras	22
3.7 Contenido de Humedad de las Semillas	22
3.8 Prueba de Germinación	23
3.9 Análisis Sanitario	23
3.10 Siembra de Semillas en el Medio de Cultivo	24
3.11 Variables Evaluadas	24
3.11.1 Contenido de humedad de las semillas	24
3.12 Variables Fisiológicas	25
3.12.1 Plántulas Normales	25
3.12.2 Plántulas Anormales	25
3.12.3 Semillas Muertas	26
3.12.4 Semillas Duras	26
3.13 Variable Sanitaria	26
3.13.1 Incidencia	26
3.13.2 Semilla Libre	26
3.13.3 Semilla con Hongo	26
3.14 Análisis Estadístico	27
3.15 Diseño Experimental	27
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
V.- CONCLUSIONES	36
VI.- LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3. 1 Descripción y características de los contenedores utilizados.	21
Cuadro 3. 2 Condiciones de almacenamiento del frijol Pinto Saltillo.	22
Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables evaluadas en laboratorio.	29
Cuadro 4.2 Comparación de medias para las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Muestreo.	30
Cuadro 4. 3 Comparación de medias de las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Amb*Mues sobre SG, PN, PA.	31
Cuadro 4.4 Comparación de medias de las variables de semillas germinadas y semillas muertas evaluadas en el laboratorio sobre el efecto de contenedores* Muestreo.	33
Cuadro 4. 5 Comparación de medias de las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Amb*Cont*Mues de PN y PA.	34

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue evaluar el deterioro y la calidad de las semillas de frijol pinto Saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) durante su almacenamiento en dos tipos de recipientes con diferentes calibres, bajo tres condiciones ambientales distintas, en términos de calidad fisiológica y sanitaria. Este estudio fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, ubicado en el Departamento de Fitomejoramiento, específicamente en el laboratorio de Producción y Almacenamiento de Semillas y en el Banco de Germoplasma, en el Programa de Recursos Fitogenéticos, durante el periodo 2023-2024. El material genético utilizado fue proporcionado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), correspondiente a un lote de semillas registradas del ciclo primavera-verano 2023.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de tres factores. Las semillas fueron almacenadas durante 120 días, con muestreos realizados cada 30 días. Los tratamientos incluyeron tres condiciones ambientales: 60% de humedad relativa (HR) a 5-10°C, 75% HR a 15°C, y 55% HR a 7°C, en dos tipos de contenedores (delgado y grueso). Las variables evaluadas fueron: contenido de humedad (CH), porcentaje de semillas germinadas (SG), porcentaje de plántulas normales (PN), porcentaje de plántulas anormales (PA), porcentaje de semillas muertas (SM), porcentaje de semillas duras (SD) e incidencia de hongos (IH). En conclusión, los dos tipos de contenedores (Grueso y Delgado) son adecuados para el almacenamiento de frijol pinto saltillo ya que no hay pérdida de germinación. Se considera que el uso de los dos contenedores (Grueso y Delgado) agregando el sello de poliestireno puede ser considerado hermético para frijol pinto saltillo, ya que no existe interacción con las condiciones ambientales externas. En general el sistema de almacenamiento propuesto se considera apto para almacenar germoplasma de frijol a mediano plazo sin afectar la calidad fisiológica y sanitaria.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the deterioration and quality of Saltillo pinto bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) during storage in two types of containers with different calibers, under three different environmental conditions, in terms of physiological and sanitary quality. This study was carried out at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, at the Seed Technology Training and Development Center, located in the Plant Breeding Department, specifically in the Seed Production and Storage Laboratory and in the Germplasm Bank, in the Plant Genetic Resources Program, during the period 2023-2024. The genetic material used was provided by INIFAP (National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research), corresponding to a batch of seeds registered from the spring-summer 2023 cycle.

A completely randomized experimental design with a three-factor factorial arrangement was used. Seeds were stored for 120 days, with sampling every 30 days. Treatments included three environmental conditions: 60% relative humidity (RH) at 5-10°C, 75% RH at 15°C, and 55% RH at 7°C, in two types of containers (thin and thick). The variables evaluated were: moisture content (MC), percentage of germinated seeds (SG), percentage of normal seedlings (PN), percentage of abnormal seedlings (PA), percentage of dead seeds (SM), percentage of hard seeds (SD), and incidence of fungi (IH). In conclusion, both types of containers (Thick and Thin) are suitable for the storage of pinto beans since there is no loss of germination. It is considered that the use of both containers (Thick and Thin) adding the polystyrene seal can be considered airtight for pinto beans since there is no interaction with external environmental conditions. In general, the proposed storage system is considered suitable for storing bean germplasm in the medium term without affecting physiological and sanitary quality.

I.- INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tiene su origen en la antigüedad, cuando los agricultores de Mesoamérica y Sudamérica comenzaron a cultivarlo. Las primeras evidencias del cultivo se hallaron en México y Perú, y posteriormente se extendió a otras regiones de América Central y del Sur. Con el tiempo, el frijol se difundió globalmente, y actualmente se cultiva en todos los continentes (Chacón *et al.*, 2009).

De acuerdo con el Banco Mundial (2019), el frijol es el tercer cultivo más importante a nivel mundial, después del arroz y el maíz. Los principales países productores de frijol incluyen a Estados Unidos, India, China, México, Brasil, Argentina, Canadá, Colombia, Nicaragua y Guatemala, los cuales concentran el 80% de la producción mundial. En México, los estados con mayor producción de frijol son Sinaloa, Durango, Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Nayarit, Guanajuato y San Luis Potosí, los cuales representan el 70% de la producción nacional (FIRA, 2023). Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (2019), la producción nacional de frijol en México ha mostrado un crecimiento en los últimos años, pasando de 4.7 millones de toneladas en 2011 a 5.5 millones de toneladas en 2018.

El frijol cultivado se siembra en todos los estados de México y constituye más del 95% del frijol consumido en el país, lo que subraya su importancia en la agricultura nacional y la diversidad de sus variedades. Además, el frijol tiene un papel fundamental en la gastronomía mexicana, destacándose por su sabor, la variedad de platillos en los que se utiliza y su función como acompañante en las comidas tradicionales (SADER, 2019). La región centro-norte de México es clave en la producción de frijol, generando el 49.3% de la producción nacional, y en esta área participa también el estado de Coahuila (SIAP, 2020). Este cultivo es esencial para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola a nivel global, con una amplia gama de variedades que tienen la capacidad de fijar nitrógeno

en el suelo a través de una simbiosis con bacterias, lo que lo convierte en un cultivo clave para la rotación de cultivos, mejorando la fertilidad del suelo y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles. Asimismo, el frijol es una fuente de ingresos para miles de agricultores y genera empleo en diversas áreas rurales (Ayala *et al.*, 2021).

El almacenamiento hermético es una técnica que consiste en almacenar productos en recipientes sellados que impiden la entrada de aire y humedad, lo cual prolonga la vida útil del frijol, previene su deterioro y protege contra las plagas (Hernández, 2016). Por lo anterior el presente trabajo tiene como:

1.1 Objetivo General

Evaluar el daño y la calidad de las semillas de Frijol cuando se almacenan en dos tipos de recipientes y diferentes tamaños, bajo tres condiciones de ambientes.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad fisiológica a través de pruebas de germinación y vigor a corto, mediano y largo plazo.
- Evaluar el contenido de humedad en los recipientes a corto, mediano y largo plazo.
- Realizar un diagnóstico de la sanidad de las semillas mediante un análisis sanitario a corto, mediano y largo plazo.

1.3 Hipótesis

Las semillas de frijol, cuando se almacenan de manera semi-hermética en tres ambientes diferentes, pueden preservar tanto su calidad fisiológica como sanitaria, además de conservar su longevidad.

Al menos uno de estos tres ambientes de almacenamiento garantizará la mayor duración de la semilla de frijol.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del Cultivo

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), pertenece a la familia Fabaceae, es una especie originaria del continente americano específicamente de Centroamérica (Barrera, 2016). Es uno de los cultivos más importantes en México, con una superficie sembrada alrededor del 80% con este género (Paredes *et al*, 2006). El frijol representa el segundo cultivo más importante nacionalmente principalmente por la superficie sembrada bajo condiciones de temporal (Osuna *et al.*, 2008) Mundialmente se siembran aproximadamente 25 millones de hectáreas, teniendo un rendimiento promedio de 0,7 toneladas por hectárea (Cabral, 2006). Los países con mayor producción son India, Brasil, China, Estados Unidos y México, los cuales contribuyen con 57.8% de la producción mundial (Garra *et al.*, 2011). Se conocen aproximadamente 150 variedades de frijol en el mundo, de las cuales 50 de estas las encontramos en México (SADER, 2019).

2.2 Clasificación Taxonómica

El frijol pertenece al género *Phaseolus* y recibe el nombre científico de

Phaseolus vulgaris L. (Franco *et al.*, 2004)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Phaseolus*

Especie: *Phaseolus vulgaris* L.

2.3 Morfología

Es una planta herbácea que pertenece a la familia Fabaceae, caracterizada por tener los tallos delgados y débiles, cuadrangulares, en algunas ocasiones rayado de purpura, tiene hojas trifoliadas y alcanza una altura de 50 a 70 cm, Su raíz tiene un desarrollo pivotante con ramificaciones (SAGARPA, 2017). Es una planta de tipo anual, con un desarrollo vegetativo de 90 a 270 días dependiendo la altura a la que se siembre. Tiene hábitos de crecimiento determinado o arbustivo, e indeterminado.

El tipo de crecimiento de la variedad Pinto Saltillo es de forma enredadera indeterminada, con las guías cortas no trepadoras, lo que corresponde al hábito de crecimiento indeterminado postrado. La altura del dosel de esta variedad es entre 38 - 44 cm y la longitud de la guía es de 84 cm (SNICS, 2001).

Sistema radical: La raíz tiende a ser fasciculada o fibrosa, por lo general se consideran de mediana profundidad, pueden ser arbustivas o de enredadera. el sistema radical está conformado por una raíz principal, a su vez por un gran número de raíces secundarias y raicillas. Una vez germinada tiene un crecimiento rápido, su capa activa oscila entre los 0.20 – 0.40 m. de profundidad y de 0.15 – 0.30 m. de radio. Este sistema radical perdura durante toda la vida de la planta (Quintero, 2002).

Tallo: El tallo se compone de nudos y entrenudos de tamaño variable, y de cada nudo surge una hoja. Su altura está relacionada con el tipo de crecimiento (determinado o indeterminado). Se consideran de crecimiento determinado cuando alcanzan una altura baja (entre 0.20 y 0.60 m) y tienen una inflorescencia en su extremo, mientras que los de crecimiento indeterminado pueden llegar a medir entre dos y diez metros de altura y no presentan inflorescencia en su yema terminal (Quintero, 2002).

Hojas: Las hojas son trifolioladas, de peciolo largos con estipulas pequeñas y agudas, con o sin pubescencias (Durán, 2007).

Flores: Las flores se disponen en un racimo, ya sea terminal o lateral. Son flores completas, compuestas por cinco partes: dos alas, una quilla y dos estambres. El color de las flores varía entre morado intenso y blanco. Esta especie es predominantemente autógena, con un porcentaje del 95% (Durán, 2007).

Fruto: El fruto es una vaina formada por dos valvas, que tienen su origen en el ovario comprimido. Estas valvas presentan dos suturas a lo largo de su estructura, una conocida como sutura versal y la otra como sutura ventral. En el interior del fruto, que es una legumbre, se encuentran entre cuatro y seis semillas (Durán, 2007).

Semilla: El frijol Pinto Saltillo tiene granos de tamaño mediano, con un peso que varía entre 30 y 34 g por cada 100 semillas. Su forma es elíptica en el corte transversal y presenta una apariencia externa semi-arriñonada. El color del grano es crema muy claro con manchas cafés claras, y el hilio es amarillo, el grano es altamente resistente a la oxidación, lo que le da un mayor atractivo al consumidor en comparación con otras variedades del tipo Pinto Nacional, que tienen un color de fondo más oscuro (SNICS, 2001).

2.4 Requerimientos edafoclimáticos

Temperatura: La temperatura adecuada para el cultivo de frijol varía según las etapas de crecimiento, pero en general, el frijol se desarrolla mejor en un rango de temperatura entre 18°C y 30°C. Durante la germinación, las temperaturas óptimas oscilan entre 20°C y 30°C. Para el crecimiento vegetativo y la floración, las temperaturas ideales están entre 22°C y 28°C (Reyes *et al.*, 2012).

Horas luz: El cultivo de frijol requiere una duración de luz adecuada para su desarrollo. Generalmente, el frijol necesita entre 12 y 14 horas de luz diaria para un crecimiento óptimo. Durante el período de crecimiento vegetativo, el frijol se beneficia de largas horas de luz, mientras que, en la fase de floración y formación de frutos, también se necesita suficiente luz para asegurar un buen rendimiento (Jarquín *et al.*, 2013).

Humedad relativa: La humedad relativa óptima para evitar la incidencia de enfermedades fungosas en el cultivo del frijol es de 40-60% (Jarquín *et al.*, 2013).

PH: El pH óptimo para el cultivo de frijol se encuentra entre 6,0 y 6,5, lo que corresponde a un suelo ligeramente ácido a neutro. Este rango favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y permite un desarrollo adecuado. Fuera de este rango, ya sea en suelos muy ácidos o alcalinos, las plantas

pueden enfrentar dificultades para absorber nutrientes, lo que puede afectar su crecimiento y producción (Reyes *et al.*, 2012).

Suelos: El frijol crece de manera óptima en suelos profundos y fértiles, preferentemente de origen volcánico, que cuenten con al menos un 1,5% de materia orgánica en la capa arable. Además, estos suelos deben tener una textura ligera, con un contenido de arcilla no superior al 40%, como los suelos francos, franco limoso y franco arcilloso. Esto se debe a que un buen drenaje y aireación son esenciales para lograr un buen rendimiento en el cultivo (Jarquín *et al.*, 2013).

Profundidad del suelo: La profundidad óptima para el cultivo de frijol generalmente se encuentra entre 5 y 7 cm en el suelo. Esta profundidad es adecuada para asegurar que las semillas tengan suficiente contacto con el suelo, lo que facilita la germinación y el crecimiento inicial (Jarquín *et al.*, 2013).

2.5 Importancia del cultivo

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más relevantes a nivel mundial y constituye la fuente de proteína vegetal más importante para aproximadamente 300 millones de personas. Su importancia radica en ser una fuente clave de calorías, proteínas, fibras dietéticas, minerales y vitaminas, tanto en países desarrollados como en aquellos en desarrollo. Este cultivo complementa a los cereales y otros alimentos ricos en carbohidratos, pero bajos en proteínas, ofreciendo una nutrición balanceada gracias a su alto contenido proteico (Bascur, 2001). El frijol común representa el 57% de la oferta mundial de leguminosas. Además, los granos de frijol contienen proteínas como tiamina y riboflavina, así como un adecuado nivel de vitaminas. Su contenido proteico y de aminoácidos esenciales, como isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina y triptófano, es de gran relevancia, y las semillas tienen un alto valor energético. En los países desarrollados, el frijol verde es consumido principalmente como hortaliza debido a su elevado contenido de vitaminas, minerales y fibra, y bajo contenido calórico, mientras que en los países en desarrollo se consume principalmente el grano seco, que constituye una fuente básica de proteínas en la dieta diaria de la población (Acosta y Pérez, 2008). La forma cultivada de frijol se siembra

en todos los estados de México y constituye más del 95% del frijol consumido en el país. Esto resalta la relevancia de su cultivo y la diversidad de sus tipos. El frijol tiene un papel destacado en la gastronomía mexicana, siendo característico por su sabor, la variedad de platillos en los que se utiliza y su función como acompañante en las degustaciones tradicionales (SADER, 2019). El frijol se cultiva en más de 90 países, adaptándose a una gran variedad de sistemas y condiciones ambientales. Se estima que la superficie mundial sembrada con frijol alcanza los 36 millones de hectáreas (CEDRSSA, 2020). En México, la producción anual de frijol supera el millón de toneladas, siendo los estados de Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua los principales productores (SIAP, 2019).

2.6 Importancia Económica

El frijol ha sido un elemento esencial en la alimentación y la economía de los mexicanos desde la época prehispánica, siendo parte fundamental de la cultura gastronómica de México. De esta planta se aprovechan sus flores, semillas y ejotes, los cuales pueden consumirse tanto tiernos como maduros (SADER, 2019). Existen 150 variedades de frijol, de las cuales un tercio se encuentra en México. Entre estas variedades se destacan el frijol blanco, conocido como alubia, así como el negro, flor de mayo, morado, pinto, canario y ayocote (SADER, 2019).

En México, el frijol es considerado un producto clave para el desarrollo rural y social, ya que forma parte de una larga tradición de producción y consumo, desempeñando roles fundamentales tanto en la alimentación como en el desarrollo socioeconómico (SE, 2012). Debido a su alto contenido proteico, el frijol es un alimento esencial y ocupa el segundo lugar en importancia nacional, solo después del maíz (San Germán, 2010).

La producción de frijol en México satisface casi por completo las necesidades de consumo del país. En 2017, la producción alcanzó más de un millón 183 mil toneladas, posicionando a México como el quinto mayor productor de frijol a nivel mundial. Se proyecta que para 2030, el consumo nacional aumente de 1.2 a 1.4 millones de toneladas, y que la producción potencial se eleve de 1.08 a 2.38 millones de toneladas (SAGARPA, 2017).

Entre 2000 y 2019, la producción de frijol ha aumentado en promedio un 4.6% anual, lo que equivale a una producción promedio de 1.1 millones de toneladas. Sin embargo, durante este periodo se ha observado una gran variabilidad (CEDRSSA, 2020), debido a que el 64.9% de la producción se cultiva en tierras de temporal, no tecnificadas, lo que hace que el cultivo sea susceptible a las variaciones climáticas y a los cambios en los periodos de lluvia. El precio promedio del frijol oscila entre 12,000 y 14,000 pesos por tonelada, y esta cifra varía según los patrones de consumo, la producción nacional y las importaciones. Según CEDRSSA (2020), en 2018, el precio rural en Sinaloa alcanzó los 14,500 pesos por tonelada.

2.7 Superficie y Producción en México

El frijol puede adaptarse a diversas condiciones de suelo y clima en todo el país, por lo que se cultiva en los 32 estados de la República.

En México, el frijol es el tercer cultivo más importante en términos de superficie sembrada, representando el 7.9% del total durante el año agrícola. En cuanto al valor de la producción agrícola nacional, ocupó la décima posición, con una participación del 2.4% en 2020 (SADER, 2022).

Durante el año agrícola 2021, se cosecharon 1.60 millones de hectáreas, con un 87.2% en áreas de temporal y un 12.8% bajo riego, alcanzando una producción de 1.176 millones de toneladas. Este resultado implicó un incremento del 11.3% en comparación con la producción del año agrícola 2020. Las lluvias más abundantes en las principales regiones de temporal fueron claves para recuperar los rendimientos promedio por superficie, lo que permitió que la producción nacional creciera por segundo año consecutivo tras los efectos de la sequía que afectó en 2019 (SIAP, 2022)

El 73.2% de la producción de frijol se obtuvo durante el ciclo Primavera-Verano, mientras que el 26.8% correspondió al ciclo Otoño-Invierno. Las variedades de frijol negro, pinto y azufrado/peruano son las que tienen mayor participación en la producción nacional. Cinco estados concentraron el 68.2% de la producción nacional: Zacatecas (29.9%), Sinaloa (13.0%), Durango (10.5%), Chihuahua (8.9%) y Nayarit

(6.0%). El rendimiento promedio en áreas de riego fue de 1.76 toneladas por hectárea, mientras que en áreas de temporal fue de 590 kg por hectárea (SADER, 2022)

Resaltando que el rendimiento promedio de la variedad Pinto Saltillo en condiciones de riego y temporal es de 2,300 y 1,100 kilogramos por hectárea respectivamente, bajo condiciones de temporal y riego, obtiene rendimientos más altos comparados con otras variedades de frijol que van desde los 60 a 110 kilogramos por hectárea. En 2008 se sembraron con Pinto Saltillo 458,274 hectáreas y se ha mantenido constante su siembra durante los últimos años (INIFAP, 2022).

2.8 Factores que influyen en el almacenamiento

Los principales factores que afectan el deterioro de la semilla en el almacén son: un alto contenido de humedad en el grano almacenado, altas temperaturas en el ambiente o la bodega, y la presencia de hongos, bacterias y roedores. Antes de almacenar el grano, es recomendable someterlo a un proceso de limpieza y asegurarse de que tenga un 12% de humedad o menos. Se ha comprobado que cuando el contenido de humedad en la semilla supera el 13%, su capacidad de germinación disminuye considerablemente después de 90 días de almacenamiento (Alizaga, 1985).

Por otra parte, los factores ambientales que afectan directamente la humedad de las semillas de frijol son la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) del aire en contacto con ellas. Dado que tanto las semillas como el aire son materiales higroscópicos, tienden a absorber o ceder humedad según las condiciones ambientales, hasta alcanzar lo que se denomina contenido de humedad en equilibrio (CHE) (Alizaga, 1985).

Humedad de las Semillas

La relación entre la humedad presente en las semillas, la temperatura a la que se almacenan y su longevidad es un factor crucial para garantizar que las semillas mantengan su capacidad de germinación a lo largo del tiempo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento disponibles, las semillas pueden ganar o perder humedad. Cuando la humedad aumenta, esto puede ocasionar una aceleración en los procesos metabólicos de la semilla, lo que a su vez incrementa la respiración interna.

Este aumento en la actividad metabólica genera calor dentro de la semilla, lo que favorece el desarrollo de hongos y otros microorganismos. La presencia de estos patógenos puede destruir rápidamente la viabilidad de las semillas, reduciendo su capacidad para germinar de manera efectiva (Alizaga, 1985).

Temperatura

La temperatura de almacenamiento tiene un impacto directo en la durabilidad de las semillas. A altas temperaturas, las semillas experimentan un incremento en su tasa de respiración, lo que genera más calor interno. Este calor adicional acelera la descomposición de las reservas nutritivas y contribuye a la pérdida de viabilidad de las semillas. Las temperaturas superiores a los 20°C pueden reducir significativamente la vida útil de las semillas.

Las temperaturas bajas, especialmente entre 4°C y 10°C, son más beneficiosas para el almacenamiento de semillas, ya que ralentizan el metabolismo de las semillas, lo que ayuda a su conservación. No obstante, cuando se trata de congelar semillas, se debe proceder con cautela, ya que algunas especies pueden sufrir daños irreparables si se congelan sin el tratamiento adecuado, como el secado previo o el uso de sellado al vacío, que son necesarios para prevenir el daño causado por la congelación (Alizaga, 1985).

Ventilación

Evitar la acumulación de humedad: Es crucial que los espacios destinados al almacenamiento cuenten con una circulación de aire adecuada para prevenir la acumulación de humedad. La ausencia de ventilación puede generar un ambiente favorable para el crecimiento de moho o bacterias. Recipientes con circulación de aire adecuada: Es esencial que los recipientes no sean completamente herméticos si las semillas aún conservan algo de humedad. Los contenedores con perforaciones o las bolsas de tela permiten la circulación del aire sin que el contenido se vea afectado por la humedad externa (SADER, 2016).

Luz

La exposición a la luz puede estimular procesos metabólicos dentro de las semillas, lo que puede disminuir su tiempo de vida útil. Por esta razón, las semillas deben guardarse en lugares oscuros o en contenedores opacos que las protejan de la luz directa (SADER, 2016).

Contenido de Humedad de la Semilla

El aspecto más crucial para un almacenamiento adecuado es secar el grano de manera rápida y mantenerlo seco y fresco, dado que tanto el grano como el aire contienen humedad. La humedad del grano y la del aire tienden a equilibrarse constantemente. Todo grano cosechado mantiene una cierta cantidad de humedad. Si el grano está demasiado húmedo, los hongos lo atacarán rápidamente. Para garantizar un buen almacenamiento, el grano debe secarse hasta alcanzar un 13 o 14% de humedad. Este proceso de secado solo previene el ataque de hongos, por lo que no debe considerarse como la única medida para asegurar un almacenamiento adecuado.

El contenido de humedad y la temperatura están en constante interacción, por lo que es fundamental mantener el grano seco y fresco. Además, es importante proteger los almacenes de la exposición directa al sol, ya que los rayos solares pueden calentar el depósito, lo que genera condiciones favorables para el desarrollo de hongos e insectos dentro del almacenamiento (SADER, 2016).

2.9 Pérdidas por almacenamiento

En México no se cuentan con datos específicos sobre las pérdidas de granos y semillas, pero se estima que entre el 5% y el 25% de la producción anual de frijol se pierde. Las semillas deben mantener su capacidad de reproducción hasta el momento de ser utilizadas; si pierden este potencial, solo podrán ser utilizadas como grano (SADER, 2016).

Algunos de los factores que contribuyen a las pérdidas durante el almacenamiento incluyen:

- Contenido elevado de humedad.
- Altas temperaturas.
- Presencia de impurezas (granos o semillas rotas, restos de plantas, insectos muertos, etc.).
- Infecciones por insectos, hongos, bacterias y plagas.
- Falta de conocimiento sobre técnicas adecuadas de conservación y almacenamiento.
- Ausencia de instalaciones de almacenamiento adecuadas.
- Manejo inadecuado.

Las condiciones óptimas de almacenamiento dependen de las características físicas de cada región, ya que deben ajustarse al clima tropical, desértico o frío, Independientemente del tipo de clima, el almacén o contenedor debe mantenerse seco, fresco y protegido de plagas (SADER, 2016).

2.10 Preceptos de Almacenamiento

Los preceptos de almacenamiento son principios claves que deben seguirse para asegurar que los productos, especialmente los alimentos y semillas, se conserven en las mejores condiciones posibles, manteniendo su calidad y viabilidad a lo largo del tiempo. Algunos de los preceptos más importantes son:

1. **Control de la temperatura:** La temperatura debe ser adecuada para evitar el deterioro. Generalmente, las temperaturas frías son más favorables, ya que ralentizan el metabolismo de las semillas y previenen la proliferación de microorganismos. Es importante evitar el calor excesivo que acelera los procesos de descomposición.
2. **Control de la humedad:** Mantener niveles de humedad apropiados es fundamental. La humedad elevada puede favorecer la aparición de hongos y bacterias, mientras que la humedad muy baja puede dañar algunos productos, especialmente las semillas, afectando su capacidad de germinación.

3. **Protección contra plagas:** Es esencial prevenir el acceso de insectos, roedores y otros animales que pueden dañar los productos almacenados. Para esto, los almacenes deben ser sellados correctamente y se pueden emplear métodos naturales o aprobados para repeler plagas.
4. **Ventilación adecuada:** El almacenamiento debe contar con una buena circulación de aire para evitar la acumulación de humedad y mantener las condiciones estables. Esto ayuda a prevenir el moho y otros problemas relacionados con la humedad.
5. **Condiciones de luz:** La exposición a la luz debe ser minimizada, ya que puede activar procesos metabólicos en productos como las semillas, reduciendo su viabilidad. Es mejor almacenarlas en lugares oscuros o en envases opacos que las protejan de la luz directa.
6. **Uso de envases adecuados:** Los contenedores deben ser apropiados para el tipo de producto que se está almacenando. Algunos productos requieren envases herméticos, mientras que otros necesitan una cierta circulación de aire para evitar el daño por humedad.
7. **Limpieza y desinfección de los almacenes:** Mantener los espacios de almacenamiento limpios y desinfectados es esencial para prevenir la contaminación de los productos y la proliferación de microorganismos dañinos.
8. **Monitoreo constante:** Es importante revisar periódicamente las condiciones del almacenamiento y el estado de los productos. Esto incluye verificar la temperatura, la humedad y la presencia de plagas.
9. **Rotación de productos:** En almacenes de alimentos o semillas, la rotación adecuada de productos (primero en entrar, primero en salir) es crucial para garantizar que los productos más antiguos se utilicen antes de que pierdan su calidad o viabilidad.
10. **Seguridad y protección:** Además de la conservación, los productos deben almacenarse de manera que estén protegidos de daños físicos, contaminación y robos.

Estos preceptos ayudan a garantizar que los productos almacenados conserven su calidad durante el mayor tiempo posible, minimizando el riesgo de pérdidas por deterioro o contaminación (Rivera, 1979).

2.11 Almacenamiento de Semillas y Granos de Frijol

El almacenamiento es una etapa dentro del sistema de operación en la que los productos se conservan de manera adecuada para garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades durante los períodos en los que no hay producción agrícola. Los productos destinados al almacenamiento pueden presentar características que no permiten su ingreso inmediato al almacén. Por ejemplo, un nivel excesivo de humedad o la presencia de insectos e impurezas pueden poner en riesgo la calidad y duración de la conservación de los productos. Durante el proceso de almacenamiento, es fundamental controlar el estado de conservación de los productos, lo cual implica realizar mediciones periódicas de factores como la humedad, la temperatura, la humedad relativa y la presencia de insectos, entre otros.

Para garantizar una buena conservación, el grano que se almacenará debe tener un contenido de humedad de entre 12% y 13%. Los pequeños productores suelen secar su grano de manera natural, exponiéndolo al sol, ya que los sistemas de secado artificial incrementan los costos. En cuanto al almacenamiento, muchos pequeños productores lo hacen en sacos en lugares secos. Sin embargo, el uso de silos metálicos ha demostrado ser eficaz para los agricultores, brindando mejores resultados (Rosas, 1998).

2.12 Tipos de Almacenamiento

El fundamento de un almacenamiento y conservación adecuados de granos y semillas radica en utilizar bodegas que sean secas, limpias y completamente libres de plagas. Dentro de estos espacios, se debe almacenar granos o semillas que estén secos, enteros, en buen estado y sin impurezas. Estas condiciones son esenciales para preservar la calidad y viabilidad del producto durante el almacenamiento.

Sin importar el tipo de almacén o contenedor empleado, es crucial que el producto almacenado se mantenga fresco, seco y protegido de factores como insectos, aves, hongos y roedores, ya que estos pueden deteriorar rápidamente los granos y semillas (SAGARPA, 2017).

En México, los métodos de almacenamiento más comunes incluyen diversas técnicas adaptadas a las condiciones locales y al tipo de grano o semilla.

Almacenamiento en Sacos

Los sacos utilizados para el almacenamiento de granos y semillas están hechos de materiales como yute, henequén, fibras locales y sintéticas. Aunque estos sacos son una opción común y relativamente accesible, presentan varias desventajas. Son costosos en comparación con otros métodos de almacenamiento, tienen una vida útil corta y su manipulación puede ser lenta y poco eficiente. Además, estos sacos no brindan protección adecuada contra factores como la humedad, los insectos y los roedores, lo que puede comprometer la calidad de los productos almacenados.

En cuanto a su durabilidad, los sacos pueden romperse fácilmente, lo que no solo resulta en la pérdida del producto almacenado, sino que también facilita la infestación de plagas. El daño de los sacos abre la puerta a la penetración de humedad y a la proliferación de hongos o bacterias, lo que reduce la viabilidad de las semillas o la calidad de los granos. Aunque se utilizan ampliamente debido a su bajo costo inicial y accesibilidad, es importante considerar su capacidad limitada para preservar los productos a largo plazo (SAGARPA, 2017).

Almacenamiento a Granel

El almacenamiento a granel es una técnica muy utilizada en la conservación de granos y semillas. Una de las principales ventajas de este método es que puede mecanizarse fácilmente, lo que hace que la manipulación de grandes volúmenes de productos sea rápida y eficiente. Además, permite optimizar los recursos y reducir los tiempos de trabajo en comparación con otros métodos de almacenamiento más manuales.

Sin embargo, este sistema también presenta algunos inconvenientes. Uno de los principales es que aumenta el riesgo de infestación por roedores, debido a la falta de barreras físicas que protejan los productos almacenados. Asimismo, el almacenamiento a granel ofrece poca protección contra la reinfestación por plagas, lo que puede provocar daños significativos a los granos o semillas si no se lleva a cabo un control adecuado. Aunque es un método práctico y económico, su efectividad depende de un control estricto del ambiente de almacenamiento, como la ventilación adecuada, la protección contra plagas y el monitoreo constante de las condiciones de humedad y temperatura (SAGARPA, 2017).

Almacenamiento Hermético

Este método de almacenamiento hermético implica guardar el producto en recipientes sellados que impiden la entrada de aire y humedad. Bajo estas condiciones, la respiración de las semillas y de los insectos presentes (si los hay) consume el oxígeno disponible en el recipiente. Este agotamiento de oxígeno causa la muerte de los insectos y reduce la actividad metabólica de las semillas, lo que ralentiza su proceso de envejecimiento. Como resultado, el almacenamiento puede prolongarse durante un tiempo considerable sin que se produzca un deterioro significativo del producto.

Para que este proceso sea eficaz, el contenido de humedad de los granos o semillas debe ser inferior al 9%, ya que niveles más altos de humedad podrían favorecer el crecimiento de hongos o la proliferación de plagas, reduciendo la vida útil del producto. Este método es altamente efectivo para la conservación a largo plazo, ya que, al limitar la presencia de oxígeno y humedad, se previenen varios de los factores que podrían deteriorar el producto, como la descomposición, oxidación o la infestación por insectos y microorganismos (SAGARPA, 2017).

2.13 Contenedores de Almacenamiento

Sacos de Plástico

Los sacos de plástico son una opción popular para el almacenamiento de granos y semillas, ya que son herméticos, lo que ayuda a proteger el contenido de insectos y otras plagas. Estos sacos son fáciles de manejar y permiten un proceso eficiente para el tratamiento de fumigación de pequeñas cantidades de granos o semillas. Su diseño práctico los convierte en una alternativa accesible para quienes necesitan un método económico y efectivo para almacenar productos a corto y mediano plazo.

Sin embargo, presentan algunas desventajas. A pesar de su capacidad de sellado, los sacos de plástico pueden romperse con facilidad, especialmente si son sometidos a condiciones de manipulación rudas o exposición prolongada a factores externos. Además, son susceptibles a ser dañados por roedores, que pueden desgarrar el material para acceder al contenido. Otra limitación importante es que, en ciertas regiones, los costos de los sacos de plástico pueden ser relativamente altos, lo que podría hacer que no sean una opción accesible para todos los productores.

Para asegurar que el almacenamiento sea efectivo, es esencial que el contenido en los sacos tenga un nivel de humedad inferior al 9%. Si el grano o la semilla presenta una humedad más alta, se incrementa el riesgo de descomposición, crecimiento de hongos y despunte de plagas, lo que afectaría la calidad y la viabilidad de los productos almacenados. A pesar de estos desafíos, los sacos de plástico siguen siendo una opción viable, sobre todo para aquellos que requieren un almacenamiento rápido y accesible en condiciones controladas (SAGARPA, 2017).

Tambos Metálicos

Los tambos metálicos son una opción ampliamente utilizada para el almacenamiento de granos y semillas, gracias a su durabilidad y eficacia en la protección de los productos almacenados. Estos recipientes funcionan especialmente bien cuando el nivel de humedad del producto almacenado es inferior al 12%, ya que niveles más

altos de humedad pueden comprometer su efectividad y promover el crecimiento de hongos o bacterias.

Una de las principales ventajas de los tambos metálicos es su capacidad para actuar como una barrera física contra plagas como insectos y roedores, lo que ayuda a preservar la calidad del grano o semilla durante largos periodos. Estos tambores son herméticos, lo que dificulta la entrada de aire y humedad, manteniendo el contenido en condiciones óptimas de conservación.

Además, los tambos metálicos son adecuados para fumigar granos y semillas de manera efectiva, ya que su estructura cerrada facilita la aplicación de tratamientos contra insectos y otros microorganismos. Son especialmente útiles para grandes cantidades de productos, ya que se pueden sellar fácilmente y transportar sin riesgo de contaminación externa. Aunque los tambos metálicos son muy efectivos para el almacenamiento a largo plazo, es importante que se mantengan en lugares secos y frescos para evitar que factores externos, como la condensación o la exposición a la humedad, afecten su contenido. A pesar de su robustez, los tambos metálicos pueden ser más costosos en comparación con otros métodos de almacenamiento como los sacos de plástico, pero su durabilidad y seguridad compensan la inversión inicial, especialmente cuando se necesita almacenar grandes volúmenes de productos (SAGARPA, 2017).

2.14 Parámetros de Calidad

La calidad de una semilla depende de varios factores, incluyendo sus componentes genéticos, físicos, fisiológicos y fitosanitarios, que en conjunto le otorgan la capacidad de germinar y desarrollar una plántula saludable, incluso en condiciones ambientales adversas, para asegurar esta calidad, la semilla debe cumplir con ciertos atributos, como pureza genética, alto nivel de pureza físico-botánica, viabilidad, germinación, vigor, sanidad, un contenido adecuado de humedad y homogeneidad del lote, entre otros. Es importante recordar que la semilla es un organismo vivo que debe ser tratado cuidadosamente para preservar su viabilidad y maximizar su potencial biológico

durante el mayor tiempo posible. Factores como temperatura, humedad, presión de oxígeno, presencia de bacterias, hongos, insectos y roedores, que interactúan entre sí, pueden contribuir al deterioro y a la pérdida parcial o total de su vigor y viabilidad (FAO, 2019).

Calidad Fisiológica

La germinación y el vigor de la semilla son indicativos de su capacidad para crecer y originar plantas fuertes y homogéneas. Cuando la semilla alcanza su madurez, alcanza su punto máximo de vitalidad, pero a partir de ahí comienza a perder vigor gradualmente debido a su continua respiración y el consumo de energía necesario para mantener sus funciones vitales. Este proceso de envejecimiento se acelera cuando las condiciones de almacenamiento no son las adecuadas. Es por ello que es fundamental que las semillas se conserven en un ambiente seco y fresco para prolongar su vida útil. El extremo del envejecimiento es la muerte de la semilla, lo que implica que ha perdido por completo la capacidad de generar una planta normal y saludable (Terenti, 2004). Además, factores como la humedad, la temperatura y la exposición a agentes biológicos pueden acelerar este proceso de deterioro, reduciendo significativamente su capacidad de germinación y crecimiento. Por tanto, es esencial mantener condiciones controladas que impidan su descomposición y aseguren un almacenamiento adecuado para preservar su calidad y viabilidad.

Calidad Sanitaria

La calidad sanitaria de las semillas hace referencia al nivel de contaminación que pueda existir debido a enfermedades, patógenos y plagas en un lote de semillas. Este concepto es crucial para determinar si las semillas están libres de agentes patógenos, tales como virus, bacterias, hongos y también de insectos o cualquier otro tipo de plaga que pueda comprometer su salud o su capacidad de germinación. La presencia de estas plagas o enfermedades no solo afecta la viabilidad de las semillas, sino que también puede poner en riesgo la salud de las plantas que se desarrollarán a partir de ellas.

Una semilla con alta calidad sanitaria debe ser capaz de germinar y producir una planta sana, sin ser afectada por organismos patógenos que interfieran con su crecimiento. Para garantizar este estado sanitario, se utilizan diversos métodos, como tratamientos fitosanitarios (fungicidas, insecticidas), inspecciones visuales minuciosas y pruebas de laboratorio para detectar infecciones ocultas. Además, la correcta manipulación, almacenamiento en condiciones adecuadas de humedad y temperatura, y el uso de contenedores apropiados también son factores clave para preservar la sanidad de las semillas a lo largo del tiempo (FAO, 2019).

Es importante destacar que una buena calidad sanitaria no solo previene la pérdida de germinación y vigor de las semillas, sino que también minimiza el riesgo de transmisión de enfermedades a las nuevas plantas. En algunos casos, las semillas infectadas pueden ser un vector para plagas y enfermedades que afectan los cultivos, por lo que mantenerlas libres de patógenos es esencial para una agricultura sana y sostenible (FAO, 2019).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, específicamente en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, que forma parte del Departamento de Fitomejoramiento, así como en el laboratorio de Producción y Almacenamiento de Semillas y el Banco de Germoplasma del Programa de Recursos Fitogenéticos.

3.2 Material Genético

El material genético de frijol Pinto Saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) fue proporcionado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), correspondiente a un lote de semilla registrada del ciclo primavera-verano 2023.

3.3 Acondicionamiento del Material Genético

Las semillas de frijol fueron cuidadosamente sometidas a un proceso de limpieza manual, con el fin de eliminar aquellas que estaban dañadas y los residuos presentes.

3.4 Contenedores de Almacenamiento

Fueron puestos a prueba dos tipos de contenedores, que se muestran en el Cuadro 3.1

Cuadro 3. 1 Descripción y características de los contenedores utilizados.

Contenedor	Características
1	Contenedor delgado ESPECIERO PET 650 ML NATURAKR-63 86 X151
2	Contenedor grueso MAXI 250 PET ANILLADO TRASPARENTE 31G

3.5 Condiciones de Almacenamiento

Las semillas se almacenaron por un lapso de 120 días en tres distintos ambientes, tal y como se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3. 2 Condiciones de almacenamiento del frijol Pinto Saltillo.

Ambiente	Descripción	H.R.	T°
1	Refrigerador	60%	5-10°C
2	Refrigerador	75%	15°C
3	Cuarto frío	55%	7°C

3.6 Preparación de las Muestras

Se introdujeron 115 semillas en sacos de tela tipo tul, los cuales fueron posteriormente transferidos a los contenedores. En el contenedor No. 1, se añadieron 70 g de sílica gel como indicador de humedad, y en el contenedor No. 2, 30 g del mismo material. Luego, se distribuyeron 4 sacos por recipiente, los cuales fueron sellados herméticamente con un sello de poliestireno. Los contenedores fueron ubicados en tres condiciones ambientales de almacenamiento específicas. Se realizaron muestreos en intervalos de 0, 30, 60, 90 y 120 días.

3.7 Contenido de Humedad de las Semillas

El contenido de humedad en las semillas se define como la cantidad de agua presente en relación con su masa total. El contenido de humedad se puede determinar mediante un método llamado termogravimétrico, el cual consiste en calentar la muestra y medir la pérdida de peso por evaporación de la humedad.

3.8 Prueba de Germinación

La germinación de la semilla es una prueba de laboratorio que evalúa la emergencia y el desarrollo de la plántula hasta un estado en el que las características de sus estructuras fundamentales permiten determinar su capacidad para crecer y convertirse en una planta normal bajo condiciones óptimas. Este proceso es uno de los principales índices de calidad utilizados.

El análisis se realizó utilizando papel para germinación previamente humedecido, sobre el cual se dispusieron 75 semillas en cuatro repeticiones. Las semillas fueron cubiertas con una segunda capa de papel igualmente humedecido, que luego se enrolló formando una estructura tipo "taco". En la parte inferior de cada "taco" se anotaron los datos correspondientes al ambiente, tratamiento y repetición para su correcta identificación.

Los "tacos" fueron colocados dentro de bolsas de polietileno y ubicados en una cámara de germinación, donde se mantuvo una temperatura de 20°C a 25°C durante un período de 8 días.

3.9 Análisis Sanitario

Se llevaron a cabo pruebas de sanidad utilizando el medio de cultivo Malta Sal Agar (MSA), el cual es ampliamente empleado para la detección de hongos de almacén.

Para la preparación de un litro de este medio, se utilizaron los siguientes componentes: 20 g de agar bacteriológico, 20 g de extracto de malta y 60 g de cloruro de sodio. El procedimiento de preparación fue el siguiente:

- Se disolvieron los ingredientes en un matraz Erlenmeyer con agua destilada.
- El matraz fue sellado con un tapón de algodón y cubierto con una envoltura de papel aluminio.

- Posteriormente, el matraz se introdujo en una autoclave, donde se sometió a una presión de 18 libras por pulgada cuadrada (psi) y una temperatura de 120°C durante 15 minutos.
- Tras la esterilización, el medio se vertió en cajas de Petri estériles dentro de una cámara de flujo laminar y se almacenó en un refrigerador para su conservación.

3.10 Siembra de Semillas en el Medio de Cultivo

Se dispusieron 10 semillas previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante un minuto, dentro de una caja de Petri. Las cajas fueron selladas con película plástica y, en la parte inferior, se anotaron los datos correspondientes al ambiente, tratamiento y repetición para su correcta identificación. Posteriormente, las cajas fueron incubadas durante siete días en una estufa de secado a una temperatura constante de 27°C.

3.11 Variables Evaluadas

3.11.1 Contenido de humedad de las semillas

El contenido de humedad de las semillas se determinó utilizando el siguiente procedimiento: se seleccionaron cuatro repeticiones de 20 semillas, las cuales se colocaron en recipientes de aluminio con tapa, previamente pesados. A continuación, se registró el peso de las cajas con las semillas y se sometieron a un proceso de secado en una estufa a 135°C durante 4 horas. Al finalizar el tiempo de secado, las cajas se retiraron de la estufa y se colocaron en un desecador durante aproximadamente 10 minutos para permitir su enfriamiento y evitar la absorción de humedad. Finalmente, las muestras fueron pesadas nuevamente.

Los resultados se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

$$\%CH = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

P1: Peso del recipiente y su tapa

P2: Peso del recipiente, tapa y semillas antes del secado

P3: Peso del recipiente, tapa y semillas después del secado

3.12 Variables Fisiológicas

Para calcular el porcentaje de germinación de las semillas se utiliza la fórmula:

$$PG = \frac{\text{No. semillas germinadas}}{\text{No. semillas sembradas}} * 100$$

Dónde: **PG** es el Porcentaje de Germinación.

3.12.1 Plántulas Normales

La evaluación se realizó a los siete días después de la siembra, considerando aquellas semillas que evidencian un potencial de germinación y desarrollo adecuado, capaz de originar plántulas saludables en condiciones óptimas. Este análisis se basó en la capacidad de las semillas para formar plantas viables cuando se cultivan en suelos de alta calidad, con condiciones controladas de humedad, temperatura y exposición a la luz, factores esenciales para un crecimiento satisfactorio y el establecimiento de una planta funcional y robusta.

3.12.2 Plántulas Anormales

Se consideraron aquellas semillas que, aunque fueron capaces de germinar, dieron lugar a plántulas con desarrollos irregulares y no presentaron un crecimiento homogéneo. Estas plántulas no demostraron el potencial para convertirse en plantas normales o funcionales, incluso cuando se cultivan en suelos de alta calidad y bajo condiciones óptimas de humedad, temperatura y luz. Este comportamiento sugiere una deficiencia en su capacidad para adaptarse y desarrollarse adecuadamente en un ambiente controlado, lo que puede indicar problemas genéticos, fisiológicos o relacionados con la calidad de la semilla en sí.

3.12.3 Semillas Muertas

Se efectuó un conteo de todas las semillas que no lograron germinar durante el período de prueba. Aquellas semillas que al finalizar este proceso no mostraron características de vitalidad, tales como dureza, frescura o el desarrollo de cualquier estructura relacionada con la plántula, fueron clasificadas como no viables. Las semillas muertas tienden a absorber agua, presentando una textura blanda y a menudo descolorida. Estas semillas generalmente muestran signos de descomposición, como la presencia de moho, y carecen de cualquier indicio de crecimiento, como la formación de radícula o epicotilo, lo que confirma su incapacidad para desarrollar una plántula viable.

3.12.4 Semillas Duras

Se llevó a cabo un conteo de las semillas que no germinaron durante el período de prueba, pero que se identificaron como vivas, ya que continúan con actividad metabólica, como la respiración. Las semillas duras son un tipo de semilla en estado latente, caracterizadas por tener una cubierta impermeable al agua, lo que impide la absorción necesaria para iniciar la germinación.

3.13 Variable Sanitaria

3.13.1 Incidencia

El cálculo se realiza dividiendo el número de semillas infectadas por hongos entre el número de semillas no afectadas por hongos.

3.13.2 Semilla Libre

Se efectuó un conteo a los ocho días después de la siembra en medio MSA, registrando el número de semillas libres de contaminación por hongos.

3.13.3 Semilla con Hongo

Se realizó un conteo a los ocho días de haber sembrado las semillas en el medio MSA, evaluando aquellas que mostraban signos visibles de infección por hongos. Se registró el número de semillas que exhibían el crecimiento de colonias fúngicas, las cuales fueron diferenciadas por su coloración característica. Utilizando una cámara microscópica (DinoCapture2.0), se identificaron los diferentes tipos de hongos presentes en las semillas afectadas.

3.14 Análisis Estadístico

Una vez recolectados los datos, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico R, versión 3.2.5. Para las variables que presentaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para realizar una comparación de medias.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de tres factores: A (ambiente), B (contenedores) y C (muestreo).

3.15 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial.

- Factor A: ambiente
- Factor B: contenedores
- Factor C: muestreo

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} : Observación de la unidad experimental.

μ : Media general de la variable observada.

A_i : Efecto de ambiente.

B_i : Efecto de contenedores.

C_j : Efecto de muestreo.

$(AB)_{ij}$ Interacción entre ambiente y contenedores

$(AC)_{ik}$ Interacción entre ambiente y muestreos

$(BC)_{jk}$ Interacción entre contenedores y muestreos

$(ABC)_{ijk}$ Interacción entre ambientes, contenedores y muestreos

ϵ_{ij} : Error experimental.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico R (R-core team, 2023), donde se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey para todas las variables que mostraron diferencias significativas.

Cuadro 4. 1 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables evaluadas en laboratorio.

FV	GL	CH	SG	PN	PA	SD	SM	IH
Amb	2	0.74	3.73	90.5	66.3	71.36	0.208	400.8
Cont	1	0.60	1.88	3.0	0.2	39.67	3.675	20.8
Mues	4	97.66**	55.92**	934.4**	581.8**	53.60	8.104**	1386.2
Amb*Cont	2	1.35	1.60	36.1NS	29.4	38.13	0.225	310.8
Amb*Mues	8	0.60	10.38**	271.1**	183.8**	48.63	0.604	1120.6
Cont*Mues	4	0.61	13.08**	21.3NS	6.9NS	42.45	3.821*	464.6
Amb*Cont*Mues	8	0.55	1.87	196.6**	171.9**	47.15	1.308	645.2
E.E	90	1.48	2.28	20	17.6	48.22	1.136	1346.9

**Altamente significativo ($\alpha=0.01$) *Significativo ($\alpha=0.05$). (F.V.) Fuentes de Variación, (CH) Contenido de Humedad, (SG) Semillas Germinadas, (PN) Plántulas Normales, (PA) Plántulas Anormales, (SM) Semillas Muertas, (SD) Semillas Duras e (IH) Incidencia de Hongos.

En el Cuadro 4.1 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las variables evaluadas, se observa que la fuente de variación ambientes (Amb) resultó no significativa para todas las variables (PN) plántulas normales, (PA) plántulas anormales, (CH) semillas germinadas (SG), semillas duras (SD), semillas muertas (SM) e incidencia de hongos (IH). Respecto a la Fuente de variación contenedores (Cont) resultó no significativa para todas las variables CH, SG, PN, PA, SD, SM, IH. Para la fuente de variación Muestreo (Mues) resultó altamente significativa para las variables CH, SG, PN, PA, SM. Para las variables SD e IH resultó no significativa. La fuente de variación ambiente*contenedor (Amb*Cont) no resulto significancia para todas las variables CH, SG, PN, PA, SD, SM, IH. Para la fuente de variación ambiente*muestreo (Amb*Mues) resulto altamente significativa para las variables SG, PN, PA y no significativa para las variables CH, SD, SM e IH. Para la fuente de variación Contenedor*Muestreo (Cont*Mues) resulto altamente significativa para la variable SG; significativa para la variable SM y no significativa para las variables CH, PN, PA, SD e IH. Para la fuente de variación Ambiente*Contendor*Muestreo

(Amb*Cont*Mues) resulto altamente significativa para las variables PN y PA; y no significativa para las variables CH, SG, SD, SM e IH.

Cuadro 4. 2 Comparación de medias para las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Muestreo.

Mues	CH	SG	PN	PA	SM
0	9.8770 a	75.00 a	72.0000 a	3.0000 c	0.0000 b
30	5.7137 b	70.9166 c	55.0000 c	15.9166 a	1.4583 a
60	5.8080 b	73.8333 ab	63.2083 b	10.6250 b	0.1250 b
90	5.6976 b	73.5000 b	66.7916 ab	6.7083 bc	0.4166 b
120	4.7029 c	74.0416 ab	62.4583 b	11.6250 ab	0.2916 b

Medias con la misma letra no tienen diferencia significativa (CH) contenido de humedad, (SG) semillas germinadas, (PN) plántulas normales, (PA) plántulas anormales, (SM) semillas muertas.

En el Cuadro 4.2 se muestran la comparación de medias para las variables evaluadas en laboratorio mediante el efecto muestreo sobre CH, SG, PN, PA, SM. En dicho Cuadro se observa que los valores más altos para CH se obtuvieron en el muestreo de cero días con 9.87% y los valores más bajos para el muestreo de 120 días con 4.70%, mientras que los muestreos de 30, 60 y 90 días no presentan diferencia significativa; para SG el valor más alto se obtuvo en el muestreo de cero días con 75%, mientras que el valor más bajo se encuentra en el muestreo de 30 días con un 70.9%, mientras que para que los muestreos de 60 y 90 días no hubo diferencia significativa; Para PN el valor más alto se obtuvo en el muestreo de cero días con un 72% y el menor para el muestreo de 30 días con 55%, los muestreos de 60, 90 y 120 días no presentan diferencia significativa; Para PA los valores más altos se encuentran en el muestreo de 30 días con 15.91% y el valor menor en el muestreo de cero días con 3.0%, no se encontró diferencia significativa para los muestreos de 60 y 120 días; Para SM el valor más alto se encuentra en el muestreo de 30 días con 1.45%, no se encontró diferencia significativa para los muestreos de 0, 60, 90 y 120 días.

Durante el proceso de almacenamiento, la semilla tiene la capacidad de absorber o liberar humedad según las condiciones ambientales, alcanzando un equilibrio con la humedad relativa del entorno. Si la humedad relativa es elevada, la semilla tenderá a deteriorarse más rápidamente. Este incremento en la humedad, tanto dentro de la

semilla como en el ambiente, acelera los procesos de descomposición, provocando una pérdida de vigor y reduciendo la capacidad de germinación de las semillas, además, el exceso de humedad en el ambiente favorece el crecimiento de microorganismos patógenos, lo que agrava aún más el deterioro fisiológico de las semillas, reduciendo su longevidad y calidad (FAO, 2012).

La temperatura es un factor crucial para el desarrollo de los organismos y su efecto está estrechamente relacionado con la cantidad de humedad presente en el ambiente. A medida que la temperatura aumenta, la humedad atmosférica tiende a disminuir. Cuando la temperatura en los granos es baja, su impacto es más pronunciado, ya que relentiza la intensidad de la respiración celular, lo que a su vez reduce la actividad metabólica y el deterioro de los granos. Este fenómeno es fundamental para la conservación de la calidad de las semillas, ya que temperaturas más bajas favorecen la preservación de sus características fisiológicas durante el almacenamiento (Ramayo, 1983).

Cuadro 4. 3 Comparación de medias de las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Amb*Mues sobre SG, PN, PA.

Amb	Mues	SG	PN	PA
60% HR 5-10°C	0	75.000 a	72.000 a	3.000 c
	30	73.125 ab	67.625 ab	5.500 bc
	60	73.000 ab	59.375 b	13.625 ab
	90	73.125 ab	67.875 ab	5.250 bc
	120	73.375 ab	59.375 b	14.000 ab
75% HR 15°C	0	75.000 a	72.000 a	3.000 c
	30	68.875 c	48.125 c	20.750 a
	60	73.875 a	63.625 ab	10.250 bc
	90	73.625 a	66.000 ab	7.625 bc
	120	74.250 a	61.625 ab	8.250 bc
55%HR 7°C	0	75.000 a	72.000 a	3.000 c
	30	70.750 bc	49.250 c	21.500 a
	60	74.625 a	66.625 ab	8.000 bc
	90	73.750 a	66.500 ab	7.250 bc
	120	74.500 a	66.375 ab	8.250 bc

Medias con la misma letra no tienen diferencia significativa. (Amb) Ambiente, (Mues) Muestreo, (SG) Semillas germinadas, (PN) Plántulas normales, (PA) Plántulas anormales.

En el cuadro 4.3 se muestra que la interacción ambiente y muestreo para la variable SG presento el valor más alto en el muestreo de cero días para los tres ambientes, los

cuales no presentan diferencia significativa con un 75% y el valor más bajo para el muestreo a los 30 días con un 68.8% para el ambiente 75% HR y 15°C; Para PN el valor más alto se encontró en el muestreo cero para los tres ambientes, los cuales no muestran diferencia significativa con 72.0% y el valor más bajo para el muestreo a los 30 días para el ambiente 75% HR 15°C con un 48.1% el cual no presenta diferencia significativa con el muestreo a los 30 días con 49.2% del ambiente 55% HR 7°C; Para PA el valor más alto se encuentra en el muestreo a los 30 días del ambiente 55% HR 7°C con un 21.5% y el valor más bajo se encontró en el muestreo cero de los tres ambientes con un 3.0%.

Existen pruebas que indican que ciertas condiciones ambientales pueden afectar significativamente la integridad de las membranas celulares, lo que provoca la pérdida de electrolitos (Fotouo-M. *et al.*, 2015). Esta pérdida de electrolitos influye directamente en diversos parámetros fisiológicos, como el vigor de la semilla, como se observó en el estudio de Bezerra *et al.*, (2004). El deterioro de las semillas es más pronunciado cuando se combinan factores como la temperatura y la humedad interna de la semilla, ya que ambas condiciones promueven la desestabilización de las estructuras celulares y aceleran los procesos metabólicos que conducen al envejecimiento prematuro de las semillas (Tesfay *et al.*, 2016). Este efecto conjunto contribuye a la pérdida de calidad y viabilidad de las semillas, lo que resalta la importancia de controlar estos factores durante el almacenamiento para prolongar la vida útil y el potencial germinativo de las semillas.

Cuadro 4. 4 Comparación de medias de las variables de semillas germinadas y semillas muertas evaluadas en el laboratorio sobre el efecto de contenedores* Muestreo.

Cont	Mues	SG	SM
1 Delgado	0	75.0000 a	0.0000 b
	30	72.3333 b	0.5833 b
	60	73.4166 ab	0.1666 b
	90	73.2500 ab	0.5000 b
	120	73.9166 ab	0.1666 b
2 Grueso	0	75.0000 a	0.0000 b
	30	69.5000 c	2.3333 a
	60	74.2500 ab	0.0833 b
	90	73.7500 ab	0.3333 b
	120	74.1666 ab	0.4166 b

Medias con la misma letra no tienen diferencia significativa. (Cont) Contenedor, (Mues) Muestreo, (SG) Semillas germinadas, (SM) Semillas muertas.

En el Cuadro 4.4 se muestra la interacción entre contenedor y muestreo para la variable SG donde el valor más elevado se encuentra en el contenedor MAXI 250 PET ANILLADO TRASPARENTE 31G con 74.25% durante el muestreo de 60 días y el valor más bajo en el contenedor número dos con 69.5% durante el muestreo de los 30 días; Para la variable SM el valor más alto se encuentra durante el muestreo del día 30 con un 2.3% en el contenedor dos y el valor más bajo durante el muestreo a los 60 días con 0.83% en el contenedor dos, aun así no presenta diferencia significativa al resto de los muestreos y tipo de contenedor.

Según Aramendiz *et al.*, (2007) se observó un comportamiento diferencial en la germinación de las semillas durante el periodo de almacenamiento que abarca desde los 150 hasta los 330 días, lo que indica que tanto las condiciones ambientales como el tipo de empaque influyen de manera significativa en la viabilidad de las semillas durante este tiempo. Este hallazgo refuerza la idea de que el entorno de almacenamiento es crucial para preservar la calidad de las semillas, ya que factores como la temperatura, la humedad relativa y el material de empaque pueden alterar la tasa de germinación y la longevidad de las semillas. Además, se ha demostrado que un empaque adecuado y un ambiente controlado pueden ralentizar el deterioro fisiológico, prolongando así la vida útil y mejorando las posibilidades de una germinación exitosa cuando las semillas se reactivan en condiciones favorables.

Cuadro 4. 5 Comparación de medias de las variables evaluadas en el laboratorio sobre el efecto Amb*Cont*Mues de PN y PA.

Amb	Cont	Mues	PN	PA
60% HR 5-10°C	1	0	72.000 a	3.000 f
		30	72.000 a	3.000 f
		60	55.50 cd	17.00 bcd
		90	68.50 a	5.00 ef
		120	63.75 abcd	9.50 cdef
	2	0	72.000 a	3.00 f
		30	63.25 abcd	8.00 cdef
		60	63.25 abcd	10.25 cdef
		90	67.25 abc	5.50 ef
		120	55.00 d	18.50 abc
75% HR 15°C	1	0	72.000 a	3.00 f
		30	54.75 d	15.75 bcde
		60	62.25 abcd	10.25 cdef
		90	67.25 abc	5.50 ef
		120	55.00 d	18.50 abc
	2	0	72.000 a	3.000 f
		30	41.50 e	25.075 ab
		60	64.00 abcd	10.25 cdef
		90	64.75 abcd	9.75 cdef
		120	68.25 a	6.75 def
55%HR 7°C	1	0	72.000 a	3.000 f
		30	42.50 e	29.00 a
		60	67.75 ab	6.50 def
		90	63.75 abcd	9.75 cdef
		120	70.75 a	4.25 f
	2	0	72.000 a	3.000 f
		30	56.00 bcd	14.00 cdef
		60	65.50 abcd	9.50 cdef
		90	69.25 a	4.75 ef
		120	62.00 abcd	12.25 cdef

Medias con la misma letra no tienen diferencia significativa. (Amb) Ambiente, (Cont) Contenedor, (Mues) Muestreo, (PN) Plántulas normales, (PA) Plántulas anormales.

En el Cuadro 4.5 se muestra la interacción entre el ambiente, contenedor y muestreo, para la variable PN, donde el valor más alto se encuentra en el muestreo a los 30 días en el contenedor número uno, mediante el ambiente 60% HR 5-10°C con un 72% y el valor más bajo en el muestreo a los 30 días en el contenedor número dos durante el ambiente 75% HR 15°C con un 41.5% y para la variable PA el valor más alto se encontró durante el muestreo a los 30 días en el contenedor número uno mediante el

ambiente 55%HR 7°C con 29.0% y el valor más bajo durante el muestreo a los 120 días en el contenedor número uno en el ambiente 55%HR 7°C con 4.25%.

El deterioro de las semillas se ve intensificado por la interacción entre la temperatura y la humedad interna de las mismas (Tesfay *et al.*, 2016). La transferencia de humedad desde el ambiente de almacenamiento hacia las semillas activa sus procesos metabólicos, y cuando se combina con las fluctuaciones térmicas, se genera una disminución progresiva en el vigor de las semillas. Esto ocurre debido a la pérdida de la integridad de las membranas celulares, lo que afecta negativamente su capacidad de germinación. Este fenómeno demuestra que el desarrollo de las plántulas está fuertemente influenciado no solo por factores genéticos, sino también por las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad. Además, la exposición constante a ambientes con fluctuaciones de temperatura y humedad acelera el envejecimiento de las semillas, lo que resalta la importancia de controlar estos factores para optimizar la calidad y el rendimiento de las semillas almacenadas (Tesfay *et al.*, 2016).

V.- CONCLUSIONES

El almacenamiento en contenedores de calibres grueso y delgado para frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) fue indistinto para las variables evaluadas ya que no hay pérdida de germinación.

El sistema de almacenamiento en ambos tipos de contenedor grueso y delgado más el sello de poliestireno se puede considerar hermético para frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) ya que no hubo interacción con las condiciones ambientales externas.

El sistema de almacenamiento propuesto se puede considerar para almacenar germoplasma de frijol a mediano plazo sin que se afecte la calidad fisiológica y sanitaria.

VI.- LITERATURA CITADA

- Acosta, J. y Pérez, Patricia. (2008). Situación del cultivo del frijol común en México. Producción e Investigación. 9 p.
- Alizaga, R. 1985. Efecto de la temperatura de secado y del contenido de humedad durante el almacenamiento sobre la calidad de la semilla de frijol. Agronomía Costarricense. 9(2):165-17
- Ayala-Garay A.V., Acosta-Gallegos J.A. y Reyes-Muro Luis. 2021. El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México, Libro Técnico No. 1. 232 p.
- Barrera, L. S. (2016). Mecanismos morfofisiológicos asociados con la tolerancia a altas temperaturas en frijol común, *Phaseolus vulgaris* L.
- Bascur, G.: (2001) Leguminosas de grano, leguminosas de consumo humano. p. 627-647. In Agenda del Salitre. 11° ed. SOQUIMICH Comercial, Santiago, Chile.
- Bezerra, A.M.E.; Momente, V.G.; Medeiros Filho, S. 2004b. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. Horticult. Bras. 22(2):295-299
- Cabral A.M. 2006: La mejora del frijol en México. Normatividad Agropecuaria. Academia Mexicana de Ciencias.
- Camargo, R.E.; Carvalho, M. 2008. Armazenamento a vácuo de semente de milho doce. Rev. Bras. Sementes. 30(1):131-139.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Mercado del frijol, situación y prospectiva. CEDRSSA. Ciudad de México. 20 PP.
- Chacón, M.I. 2009. Darwin y la domesticación de plantas en las Américas: El caso del maíz y el frijol. Acta Biológica Colombiana, 14(4),351-363. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028030030>
- Durán, R.F. 2007. Seguridad Alimentaria, Cultivando Hortalizas. Edit. Grupo Latino Editores S.A.S. Colombia. 299-312.
- FAO y África Seeds. 2019. Materiales para capacitación en semillas- Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas. Roma, Italia.

- Fotouo-M., H.; Du-Toit, E.; Robbertse, P. 2015. Germination and ultrastructural studies of seeds produced by a fast-growing, drought-resistant tree: implications for its domestication and seed storage. *AoB PLANTS*. 7(1):1-12.
- Franco, F., Pedroso, R., Noa, A., Castañeda, I., Rios, C., Aredondo, I., Chacón, A. (2004) Lista oficial de plantas. Material complementario para la Botánica. Universidad Central de Las Villas. Centros de estudios Jardín Botánico. Cuba
- Garra, A. S., Pequeño, M. R., & de la Cruz Martín, S. 2011. El uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol: una alternativa para la agricultura sostenible en Sagua la Grande. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 159.
- Hernández, G. A., Carballo, C. A. 2016. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Recuperado de [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacena-miento% 20de% 20semillas. pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacena-miento%20de%20semillas.pdf).
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2022 Pinto saltillo: Variedad de frijol para el Altiplano de México. 20 de septiembre del 2022.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Producción de frijol. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/programas/agricultura/>
- Jarquín Joya, R. S., González López, V. S y Joya Rodríguez, T. M. (2013). Evaluación de 13 Líneas Avanzadas de Frijol Rojo (*Phaseolus vulgaris*) y un testigo INTA Rojo, para la tolerancia a la sequía, y adaptabilidad a condiciones agroecológicas de la zona, comunidad El Porcal, Municipio de San Lucas, Depto. de Madriz, 2012. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- León] Repositorio Institucional UNAN-León.
- Martínez, G.M.A., Osuna, C.E.S., Padilla, R.J.S., Acosta, G.J.A 2008. Tecnología para la producción de frijol en el norte centro de México. Libro técnico numero no.4. Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP. 206 pp.
- Paredes, L.O.; Guevara, F.L.; Bello, L.A. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas mesoamericanas, Fondo de Cultura Económica, 205 p.
- Quintero F., E.: (2002). Manejo agro técnico del frijol en Cuba. Monografía. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Santa Clara, 28p.
- Ramayo R. L. F 1983. Principales plagas de granos almacenados. Tecnologías de Granos y Semillas, 85.

- Reyes M, J., Martínez M, D., Rueda L, R y Rodríguez R, T. 2012. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2):192-203.
- Rivera, J. (1979). Principios generales del almacenamiento de semillas.
- Rosas, J. C. 1998. El cultivo del frijol común en América Tropical. Zamorano, Honduras. Zamorano Academia Press. 52 p.
- SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. La importancia del frijol en México. En: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-del-frijol-en-mexico#:~:text=Los%20frijoles%20han%20formado%20parte,queso%2C%20epa%20zote%2C%20entre%20otros>. Fecha de consulta el 15 de julio de 2022.
- SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019a. Frijol: regalo de México para el mundo. En: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/frijol-regalo-de-mexico-para-el-mundo-235432?idiom-es>. Fecha de consulta el 15 de julio de 2022.
- SADER Ficha Técnica (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). Almacenamiento y Conservación de granos y semillas) 2016 Disponible en: <https://somossemilla.org/wp-content/uploads/2017/06/Almacenamiento-de-semillas.pdf>
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Frijol Mexicano. 20 pp.
- SAGARPA, 2017. Ficha Técnica. Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca Y alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Disponible en: <https://somossemilla.org/wp-content/uploads/2017/06/Almacenamiento-de-semillas.pdf>
- Sangerman, J.M., Acosta, G.J.A., Shwenwtensius, D.R., Damián, H.M.A., Larque, S.B.S. 2010. Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3): 363-380
- SE (Secretaria de Economía). 2012. Análisis de la cadena de valor del frijol. SE. México. 39 PP.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SADER). Expectativas de producción agropecuaria y pesquera. Enero de 2022

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Aptitud agroclimática del frijol en México cielo Agrícola primavera verano. SIAP. México. 22 pp.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Producción Nacional: Cierre de la producción agrícola. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2001. Guía técnica para la descripción varietal. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). México. 21 p
- Terenti, O., 2004. Calidad de semilla, qué implica y cómo evaluarla. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Informativo rural 1(2)
- Tesfay, S.Z.; Modi, A.T.; Mohammed, F. 2016. The effect of temperature in moringa seed phytochemical compounds and carbohydrate mobilization. S. Afr. J. Bot. 102:190-196