



Universidad Politécnica de Puebla

Programa Académico de Posgrado

**Diseño y construcción de un prototipo de
germinador de semillas**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA DE DISEÑO DE BIOPROCESOS

Maestría en Ingeniería de Desarrollo de
Bioprocesos

Presenta:

Ing. Alejandro Gamaliel Flores Morales

Director: Dra. María Leticia Ramírez Castillo

Juan C. Bonilla, Puebla, México, Septiembre del 2023

*Esta tesis se realizó en el Departamento de Posgrado de la Universidad Politécnica de Puebla,
ubicada en Tercer carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá, Juan C. Bonilla, Puebla, México,
CP 72640*



Universidad Politécnica de Puebla
Maestría en Ingeniería de Diseño de Bioprocesos

Diseño y construcción de un prototipo de germinador de semillas

Tesis realizada
por:

Alejandro Gamaliel Flores Morales

Aprobada por el jurado en Septiembre del 2023

Profesor (Firma)

Dra. María Leticia Ramírez Castillo

M.C. Fernando Osvaldo González Manzanilla

Dr. Williams Ortiz Martínez

M.C. Javier Velázquez Sandoval

Juan C. Bonilla, Puebla, México, Septiembre 2023.



Universidad Politécnica de Puebla
Maestría en Ingeniería de Diseño de Bioprocesos

Copyright © - All rights reserved. Universidad Politécnica de Puebla, 2030.

Copyright statement

(Firma)

Alejandro Gamaliel Flores Morales

Resumen

En este trabajo se presenta el prototipo de un germinador de semillas, fue diseñado y construido considerando los resultados obtenidos del análisis cientométrico en el que se revisaron varias patentes para analizar las características principales de germinadores. Este germinador responde a los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030, entre los que destacan combatir el hambre y la malnutrición, promover la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y la mejora de la nutrición, así como la producción sostenible para aprovechar los recursos de forma óptima reduciendo los costos. El germinador fue construido con materiales de grado alimenticio, consta de un sistema electrónico programable para la medición y el control de la temperatura y humedad, para lo cual se implementaron los sistemas de riego y temperatura conectados a los sensores respectivos. La validación experimental se realizó germinando semillas de alfalfa y frijol como ejemplares de prueba, se hizo el análisis estadístico del crecimiento, considerando dos respuestas que solventarán el registro del prototipo: la longitud y la velocidad de crecimiento de los germinados. Estos resultados muestran que la semilla de frijol crece más y más rápido que la alfalfa, en promedio tuvo una longitud de crecimiento 4.6 veces mayor y una velocidad de crecimiento 6.6 veces mayor; para el crecimiento de los germinados de ambas semillas, la humedad y la temperatura tienen efecto significativo tanto para la longitud como para la velocidad de crecimiento, siendo la humedad el factor más importante en términos generales. Las mejores condiciones de crecimiento para ambas semillas 25-30 °C y 85-90 % HR. En los germinados de alfalfa la posición en la charola no presentó efecto significativo, pero si la presencia de papel filtro, que mejora el crecimiento al conservar la humedad; en el caso de los germinados de frijol la presencia de papel filtro y la posición en la charola no fueron significativos.

Palabras Clave: Germinador, germinados, validación del prototipo, análisis estadístico.

Abstract

This paper presents the prototype of a seed germinator, it was designed and built considering the results obtained from the scientometric analysis in which several patents were reviewed to analyze the main characteristics of germinators. This germinator responds to the sustainable development objectives of the 2030 agenda, among which are combating hunger and malnutrition, promoting food security, sustainable agriculture and improved nutrition, as well as sustainable production to take advantage of the resources of optimally reducing costs. The germinator was built with food grade materials, it consists of a programmable electronic system for the measurement and control of temperature and humidity, for which irrigation and temperature systems connected to the respective sensors were implemented. The experimental validation was carried out germinating alfalfa and bean seeds as test specimens, the statistical analysis of the growth was made, considering the answers that will solve the registration of the prototype: the length and the growth speed. These results show that the bean seed grows more and faster than alfalfa, on average it had a growth length 4.6 times greater and a growth speed 6.6 times greater; for the growth of the germinated of both seeds, humidity and temperature have a significant effect both for the length and for the speed of growth, humidity being the most important factor in general terms. Best growing conditions for both seeds 25-30°C and 85-90% RH. In alfalfa germinated, the position in the tray did not have a significant effect, but the presence of filter paper did, which improves growth by conserving moisture; in the case of bean germinated, the presence of filter paper and the position in the tray were not significant.

Keywords: Germinator, germinated seed, prototype validation, statistical analysis.

1	CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1	Introducción.....	14
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo general.....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
1.3	Justificación	15
2	CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	18
2.1	Antecedentes.....	18
2.2	Germinados	18
2.2.1	Historia de los germinados.....	19
2.3	Estadísticas de producción de alfalfa y frijol.....	20
2.3.1	Alfalfa	20
2.3.1.1	Producción Internacional.....	21
2.3.1.2	A nivel nacional.....	22
2.3.2	Frijol	23
2.3.2.1	Producción Mundial.....	23
2.3.2.2	A nivel nacional.....	26
2.4	Composición de los germinados.....	27
2.4.1	Composición proximal y nutricional de la alfalfa	27
2.4.2	Composición proximal y nutricional del frijol	28
2.5	Prácticas de propagación de plantas	29
2.5.1	Latencia de semillas: elección de tratamiento de las semillas	29
2.5.2	Condiciones de almacenamiento de las semillas	30
2.5.2.1	Tipos de almacenamiento.....	31
2.5.2.2	Factores que afectan a la duración de las semillas en almacenamiento	31
2.5.2.3	Plagas de su almacenamiento y control	32
2.5.2.4	Características básicas de las estructuras de almacenamiento de las semillas	34
2.6	Preacondicionamiento de semillas para su siembra.....	34
2.7	Tipos de germinadores.....	36
2.8	Condiciones de la germinación.....	36
2.8.1	Fases de la germinación	37
2.8.2	Proceso de germinación	38
2.8.3	Fases del crecimiento	39
2.9	Origen de semillas.....	39
2.9.1	Alfalfa	39

2.9.2	Frijol	40
2.10	Sistemas agrícolas aeropónicos.....	40
2.11	Estado del arte.....	41
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	48
3.1	Fases de la investigación	48
3.2	Análisis cuantitativo	48
3.2.1	Diseño del prototipo	49
3.3	Metodología	50
3.3.1	Tipo o enfoque	50
3.3.2	Diseño	50
3.3.3	Alcance	50
3.3.4	Población.....	50
3.3.5	Muestra	50
3.3.6	Instrumento de recolección de información.....	51
3.3.7	Procedimiento o fases de la investigación	51
3.4	Diseño y construcción del germinador	52
3.4.1	Construcción del prototipo	52
3.4.1.1	Gabinete	52
3.4.1.2	Sistema electrónico	54
3.5	Validación del prototipo con el diseño experimental	55
3.5.1	Preparación de semillas de alfalfa y frijol.....	55
3.5.2	Diseño Experimental para la producción de germinados	56
3.5.3	Instrumento de recolección de datos	58
3.6	Análisis estadístico del crecimiento de los germinados	59
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1	Análisis cuantitativo	62
4.1.1	Búsqueda en la base de datos internacional de patentes, WIPO	62
4.1.1.1	Búsqueda con la palabra “Germinator”	62
4.1.1.1.1	Análisis de una patente de interés.....	64
4.1.1.2	Búsqueda con la palabra “Germinador”	64
4.1.1.2.1	Análisis de una patente de interés.....	66
4.1.2	Búsqueda en la base de datos de patentes de México, IMPI.....	66
4.1.2.1	Búsqueda con la palabra “Germinador”	66
4.1.2.1.1	Análisis de una patente de interés.....	67
4.1.3	Búsqueda en la base de datos de patentes de Estados Unidos, USPTO	68
4.1.3.1	Búsqueda con la palabra “Germinator”	68
4.1.3.1.1	Análisis de una patente de interés.....	69
4.1.3.2	Búsqueda con las palabras “Seed Germinator”	69
4.1.3.2.1	Análisis de una patente de interés.....	70
4.1.4	Búsqueda en la base de datos de la Oficina Europea de Patentes	70
4.1.4.1	Búsqueda con la palabra “Germinator”	70

4.1.4.1.1	Análisis de patente de interés.....	71
4.1.4.2	Búsqueda con las palabras “Seed Germinator”	72
4.1.4.2.1	Análisis de una patente de interés.....	72
4.1.5	Búsqueda en la base de datos de patentes de Latinoamérica	73
4.1.5.1	Búsqueda con la palabra “Germinador”	73
4.1.5.1.1	Análisis de una patente de interés.....	73
4.2	Diseño y construcción del germinador	74
4.2.1	Diseño de germinador.....	74
4.2.2	Construcción del germinador.....	76
4.2.3	Planos eléctricos.....	81
4.3	Validación del prototipo	83
4.3.1	Funcionamiento del germinador.....	83
4.3.2	Cultivo de los germinados	84
4.3.2.1	Diseño Experimental.....	85
4.3.2.2	Recopilación de datos.....	86
4.4	Análisis estadístico del crecimiento de los germinados	89
4.4.1	Análisis descriptivo y normalidad.....	90
4.4.1.1	Análisis descriptivo	90
4.4.1.1.1	Germinados de alfalfa	90
4.4.1.1.2	Germinados de frijol	93
4.4.1.1.3	Comparación de los germinados.....	96
4.4.1.2	Medidas de tendencia central	97
4.4.1.2.1	Germinados de alfalfa	97
4.4.1.2.2	Germinados de frijol	99
4.4.1.3	Gráficas de medias.....	101
4.4.1.3.1	Germinados de alfalfa	102
4.4.1.3.2	Germinados de frijol	104
4.4.1.4	Verificación de los supuestos de modelo	106
4.4.1.4.1	Germinados de alfalfa	106
4.4.1.4.2	Germinados de frijol	108
4.4.2	Análisis de Varianza.....	109
4.4.2.1	Germinados de alfalfa.....	109
4.4.2.2	Germinados de frijol	110
4.4.3	Pruebas de Rengo Múltiple	111
4.4.3.1	Germinados de alfalfa.....	111
4.4.3.2	Germinados de frijol	113
4.4.4	Diseño Factorial 2 ^k	116
4.4.4.1	Germinados de alfalfa.....	116
4.4.4.2	Germinados de frijol	120
4.4.5	Medida de la potencia luminosa en el prototipo	127
4.4.5.1	Medición de luz.....	127
4.4.6	Análisis de consumo de agua	129
5	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	131
5.1	Conclusiones.....	131
5.2	Perspectivas	131

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Países con mayor porcentaje de adultos obesos de acuerdo a Rodrigo Rojas (2020).	15
Tabla 2.1 Resumen historia de los germinados, elaborado por Racines, A. (2011).	19
Tabla 2.2 Producción Nacional por Entidad Federativa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER 2021).	22
Tabla 2.3 Producción de frijol a nivel mundial, Olmo Axayacatl (2019).	24
Tabla 2.4 Rendimiento promedio de frijol, Olmo Axayacatl (2019).	25
Tabla 2.5 Producción Nacional por Entidad Federativa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER, 2021).	26
Tabla 2.6 Composición proximal de la alfalfa.	28
Tabla 2.7 Composición química del frijol (Fernandez et al., 2012).	28
Tabla 2.8 Análisis proximal de la semilla de frijol (De Morfin y Camacho, 1987).	28
Tabla 2.9 Información nutrimental del frijol (Diana de Ciencia eco, 2012).	29
Tabla 2.10 Tipos de latencia.	30
Tabla 2.11 Factores que afectan a la duración de las semillas en el almacenamiento.	31
Tabla 2.12 Principales plagas de almacenamiento de granos.	32
Tabla 2.13 Características básicas de la estructura de almacenamiento de las semillas.	34
Tabla 2.14 Preacondicionamiento de las semillas antes de su siembra, tratamiento pre germinativos para la preparación de semillas.	35
Tabla 2.15 Condiciones para la germinación de una semilla (Sotomayor 1979).	37
Tabla 2.16 Fases de la germinación de una semilla (Sotomayor, 1979).	37
Tabla 2.17 Etapas del proceso de germinación (Sotomayor, 1979).	38
Tabla 2.18 Ventajas y desventajas de un sistema aeropónico, Agriculturers, Red de Especialistas en agricultura (2015).	40
Tabla 2.19 Componentes de un sistema aeropónico.	41
Tabla 2.20 Tabla de trabajos relacionados con patentes de germinadores de semillas.	41
Tabla 2.21 Tabla de trabajos relacionados con patentes de germinadores.	45
Tabla 3.1 Fuentes para investigación de patentes relacionadas.	49
Tabla 3.2 Propuesta de formato de recolección de información.	51
Tabla 3.3 Propiedades del acrílico de acuerdo a la información técnica de ACRÍLICOS ONLINE (2022).	53
Tabla 3.4 Propiedades del acrílico de acuerdo a la información técnica de ACRÍLICOS ONLINE (2022).	53
Tabla 3.5 Combinación de variables para el diseño de los experimentos.	57
Tabla 3.6 Nomenclatura de los experimentos: Primera letra, A= alfalfa o F=frijol; Segunda letra, S=charola superior o I=charola inferior; tercera letra, F=usando papel filtro o N=directo sobre malla sin usar papel filtro.	57
Tabla 3.7 Combinación de variables para experimentos con semillas de alfalfa y frijol.	57
Tabla 3.8 Formato de recolección de información del crecimiento de los germinados.	58
Tabla 3.9 Análisis estadístico realizadas para la validación del germinador.	59
Tabla 3.10 Principios del Diseño de Experimentos.	60
Tabla 3.11 Medidas de tendencia central.	60
Tabla 3.12 Medidas de dispersión.	60
Tabla 4.1 Clasificación Internacional de Patentes, CIP (WIPO, 2022).	63
Tabla 4.2 Listado de componentes de germinador.	77
Tabla 4.3 Combinación de variables para el diseño de los experimentos.	85
Tabla 4.4 Nomenclatura de los experimentos: Primera letra, A= alfalfa o F=frijol; Segunda letra, S=charola superior o I=charola inferior; tercera letra, F=usando papel filtro o N=directo sobre malla sin usar papel filtro.	85
Tabla 4.5 Combinación de variables para experimentos con semillas de alfalfa y frijol.	86
Tabla 4.6 Malla inferior, semilla de alfalfa directo sobre la malla.	87
Tabla 4.7 Malla inferior, semilla de alfalfa sobre papel filtro.	87
Tabla 4.8 Malla superior, semilla de alfalfa sobre papel filtro.	87
Tabla 4.9 Malla inferior, semilla de frijol directo sobre la malla.	88
Tabla 4.10 Malla inferior, semilla de frijol sobre papel filtro.	88
Tabla 4.11 Malla superior, semilla de frijol directo sobre la malla.	88
Tabla 4.12 Malla superior, semilla de frijol sobre papel filtro.	88
Tabla 4.13 Análisis estadístico para la validación del germinador.	89
Tabla 4.14 Análisis descriptivo para germinados de alfalfa.	93
Tabla 4.15 Análisis descriptivo para germinados de frijol.	96
Tabla 4.16 Comparación de los germinados de alfalfa y frijol.	97
Tabla 4.17 Medidas de tendencia central para la longitud de crecimiento de los germinados de alfalfa.	98
Tabla 4.18 Medidas de tendencia central para la velocidad de crecimiento de los germinados de alfalfa.	99
Tabla 4.19 Medidas de tendencia central para la longitud de crecimiento de los germinados de frijol.	100
Tabla 4.20 Medidas de tendencia central para la velocidad de crecimiento de los germinados de frijol.	101
Tabla 4.21 Test de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson para poblaciones con distribución normal para alfalfa.	107
Tabla 4.22 Pruebas de Levene para igualdad de varianza de los tratamientos de alfalfa.	107
Tabla 4.23 Pruebas de Grubbs para datos atípicos en los tratamientos de alfalfa.	107
Tabla 4.24 Test de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson para poblaciones con distribución normal para frijol.	108
Tabla 4.25 Pruebas de Levene para los tratamientos de frijol.	109
Tabla 4.26 Pruebas de Grubbs para los tratamientos de frijol.	109
Tabla 4.27 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de alfalfa, respuesta: longitud máxima de crecimiento.	109
Tabla 4.28 ANOVA de una vía para un diseño aleatorio de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.	109
Tabla 4.29 ANOVA de dos vías para alfalfa, respuesta: longitud máxima de crecimiento.	110
Tabla 4.30 ANOVA de dos vías para los los tratamientos de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.	110

Tabla 4.31 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de frijol, respuesta: longitud máxima de crecimiento.....	110
Tabla 4.32 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.	110
Tabla 4.33 ANOVA de dos vías para frijol, respuesta: longitud máxima de crecimiento.	111
Tabla 4.34 ANOVA de dos vías para frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.	111
Tabla 4.35 Diseño Factorial 2^3 para los tratamientos de alfalfa.....	116
Tabla 4.36 Diseño Factorial 2^3 para los tratamientos de alfalfa, notaciones varias. Respuesta: Longitud de crecimiento máxima	116
Tabla 4.37 ANOVA para el Diseño Factorial 2^3 para alfalfa, respuesta estudiada: longitud de crecimiento.....	117
Tabla 4.38 Diseño Factorial 2^3 para los tratamientos de alfalfa, notaciones varias. Respuesta: Velocidad de crecimiento.....	119
Tabla 4.39 ANOVA para el Diseño Factorial 2^3 para alfalfa, respuesta estudiada: velocidad de crecimiento.	119
Tabla 4.40 Diseño Factorial 2^4 para los tratamientos de frijol.	121
Tabla 4.41 Diseño Factorial 2^4 para los tratamientos de frijol, notaciones varias. Respuesta: Longitud de crecimiento máxima.....	121
Tabla 4.42 Diseño Factorial 2^4 para crecimiento de frijol, respuesta estudiada: longitud de crecimiento máxima.	122
Tabla 4.43 Diseño Factorial 2^4 para los tratamientos de frijol, notaciones varias. Respuesta: Velocidad de crecimiento.	124
Tabla 4.44 ANOVA para el Diseño Factorial 2^4 para crecimiento de frijol, respuesta estudiada: velocidad de crecimiento.....	125
Tabla 4.45 Resultados de luz que recibe el germinador a distintas horas del día en un día soleado.....	127
Tabla 4.46 Resultados de luz que recibe el germinador de noche.	127
Tabla 4.46 Consumo de agua de germinador de semillas durante 14 días.....	129

Lista de Figuras

Figura 1.1 Objetivo del desarrollo sostenible (ONU, 2022).....	16
Figura 2.1 Esquema de expansión del cultivo de alfalfa en el mundo (Hill, 1937).....	20
Figura 2.2 Principales exportadores de alfalfa y cantidad exportada en 2020 (López et al., 2020).....	21
Figura 2.3 Países que participan en las exportaciones mundiales en 2020 (López et al., 2020).....	21
Figura 2.4 Países importadores de alfalfa 2020 (López et al., 2020).....	22
Figura 2.5 Producción nacional de Alfalfa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER 2021).....	23
Figura 2.6 Producción de frijol a nivel mundial Olmo Axayacatl (2019).....	24
Figura 2.7 Superficie cosechada a nivel mundial de frijol, Olmo Axayacatl (2019).....	25
Figura 2.8 Rendimiento promedio de frijol, Olmo Axayacatl (2019).....	26
Figura 2.9 Producción nacional de frijol del año 2018 al 2020 (SIAP SADER, 2021).....	27
Figura 2.10 Ciclo de vida de <i>Rhizopertha</i> Dominios, tomado de Samuel Kugbei ex Oficial Señor de la FAO (2019).....	33
Figura 2.11 Palomilla Angoumois del cereal (<i>Sitotroga cerealella</i>), tomado de Samuel Kugbei ex Oficial Señor de la FAO (2019).....	34
Figura 2.12 Esquema mostrando el proceso de escarificación mecánica mediante el uso de pinza (Arriaga et al., 1994).....	36
Figura 2.13 Partes de la semilla.....	37
Figura 2.14 Esquema de expansión del cultivo de alfalfa en el mundo. Fuente: Hill (1937).....	40
Figura 3.1 Esquema de fases de la investigación.....	48
Figura 3.2 Vistas de un dibujo isométrico.....	50
Figura 3.3 Esquema de fases de la investigación.....	52
Figura 3.4 Bolsa utilizada de frijol negro, Marca SOS.....	55
Figura 3.5 Semilla de alfalfa.....	56
Figura 3.6 Prueba de flotación para semillas de frijol negro, se sumergen en agua y se eliminan las semillas que flotan.....	56
Figura 4.1 Países con patentes de germinadores (WIPO, 2022).....	62
Figura 4.2 Clasificación Internacional de Patentes, CIP (WIPO, 2022).....	63
Figura 4.3 Patentes por año de germinadores (WIPO, 2022).....	64
Figura 4.4 Germinador CN205423082 (WIPO, 2022).....	64
Figura 4.5 Patentes de germinadores por países (WIPO, 2022).....	65
Figura 4.6 Patentes por año de germinadores (WIPO, 2022).....	65
Figura 4.7 Clasificación Internacional de Patentes (CIP) (WIPO, 2022).....	66
Figura 4.8 Dibujo de germinador con un cilindro rotatorio continuo (WIPO, 2022).....	66
Figura 4.9 Patentes por año de germinadores (IMPI, 2022).....	67
Figura 4.10 Patentes por año de germinadores (IMPI, 2022).....	68
Figura 4.11 Patentes por año de germinadores. Fuente (USPTO, 2022).....	69
Figura 4.12 Patentes por año de germinadores (USPTO, 2022).....	70
Figura 4.13 Años en los que se han patentado germinadores (EPO, 2022).....	71
Figura 4.14 Patente de germinador de semillas US4000580 (EPO, 2022).....	72
Figura 4.15 Años que se han patentado germinadores (EPO, 2022).....	72
Figura 4.16 Germinador de semillas patente CN204316978U (EPO, 2022).....	73
Figura 4.17 Años que se han patentado germinadores (EPO, 2022).....	73
Figura 4.18 Patente de germinador CN203590700U (EPO, 2022).....	74
Figura 4.19 Diseño de prototipo de germinador, vistas frontal, lateral y trasera.....	75
Figura 4.20 Diseño interior del prototipo de germinador. 1.2 m x 0.41 m x 0.41 m.....	76
Figura 4.21 Germinador construido.....	80
Figura 4.22 Diagrama eléctrico del germinador.....	82
Figura 4.23 Sensor de temperatura y humedad.....	83
Figura 4.24 Colocación de semillas en la charola superior directamente y sobre papel filtro, no se pusieron las semillas de alfalfa directo sobre la malla por ser menor su tamaño que la luz del tamiz.....	84
Figura 4.25 Colocación de semillas en la charola inferior directamente y sobre papel filtro, en esta charola si se pusieron las semillas de alfalfa directo sobre la malla por ser mayor su tamaño que la luz del tamiz.....	84
Figura 4.26 Cinética del crecimiento de germinados de alfalfa.....	91
Figura 4.27 Ejemplo del cálculo de la pendiente de la cinética del crecimiento de semillas de alfalfa en charola inferior directo sobre la malla para la determinación de la velocidad de crecimiento.....	92
Figura 4.28 Cinética del crecimiento de germinados de frijol.....	94
Figura 4.29 Ejemplo del cálculo de la pendiente de la cinética del crecimiento de semillas de frijol en charola superior sobre papel filtro para la determinación de la velocidad de crecimiento.....	95
Figura 4.30 Elementos del gráfico Box Plot o diagrama de cajas.....	102
Figura 4.31 Dot Plot y Box Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.....	103
Figura 4.32 QQ Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.....	103
Figura 4.33 QQ Plot de medias de velocidad de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.....	104
Figura 4.34 Dot Plot y Box Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.....	105
Figura 4.35 QQ Plot de medias de longitud de crecimiento de frijol para todos los tratamientos.....	105
Figura 4.36 QQ Plot de medias de velocidad de crecimiento de frijol para todos los tratamientos.....	106
Figura 4.37 Prueba Tukey de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.....	112
Figura 4.38 Prueba Duncan de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.....	112
Figura 4.39 Prueba Tukey de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.....	113
Figura 4.40 Prueba Duncan de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.....	113
Figura 4.41 Prueba Tukey de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de frijol.....	114

Figura 4.42 Prueba Duncan de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de frijol.....	114
Figura 4.43 Prueba Tukey de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.....	115
Figura 4.44 Prueba Duncan de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.....	115
Figura 4.45 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2 ³ para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.....	117
Figura 4.46 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2 ³ de germinados de alfalfa, respuesta: longitud de crecimiento.....	118
Figura 4.47 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2 ³ de germinados de alfalfa, respuesta: longitud de crecimiento.....	118
Figura 4.48 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2 ³ para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.....	119
Figura 4.49 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2 ³ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.....	120
Figura 4.50 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2 ³ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.....	120
Figura 4.51 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2 ⁴ para longitud de crecimiento de germinados de frijol.....	122
Figura 4.52 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2 ⁴ de germinados de frijol.....	123
Figura 4.53 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2 ⁴ de germinados de frijol, respuesta: longitud de crecimiento.....	123
Figura 4.54 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2 ⁴ para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.....	125
Figura 4.55 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2 ⁴ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.....	126
Figura 4.56 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2 ⁴ de germinados de frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.....	126
Figura 4.57 Medición de la cantidad de luz en el prototipo.....	128
Figura 4.58 Medición de la cantidad de luz en el prototipo.....	128

I

Planteamiento del problema de investigación

1 Capítulo 1 Planteamiento del problema de investigación

1.1 Introducción

México es un país agrícola que está siendo afectado por los efectos del cambio climático al cual es altamente vulnerable; en efecto, nuestro país se ha vuelto más caluroso y en los últimos años ha aumentado la intensidad de las sequías, afectando los cultivos. Durante el año agrícola, en nuestro país se cultivan poco más de 300 distintos tipos de cultivos, en las modalidades de cíclicos y perennes, de riego y de temporal; los estados que han destacado por su producción agrícola son estados costeros del océano pacífico: Michoacán, Jalisco, Sinaloa y Sonora. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y CONAGUA (2023) reportan la intensidad de la sequía y su tipo de impacto en el Monitor de Sequía en México (MSM), en el que se observa que para 2023, estos estados presentan sequías que van de anormalmente secas a severas, Michoacán es el estado en el que además se observan sequías extremas, destacan las sequías anormales que se reportan en el norte del país. Además, los impactos de la sequía han ido de periodos cortos a largos; los periodos cortos son de menos de 6 meses y su impacto en la agricultura y pastizales, los periodos largos son mayores de 6 meses y su impacto se observa en hidrología y ecología.

Por esta razón se deben cambiar los hábitos de cultivo generando desarrollos tecnológicos para mejorar la producción. Los germinadores son equipos que responden a esta necesidad, además de que contribuyen a lograr los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 (ONU-CEPAL, 2018; ONU, 2022), como son combatir el hambre y la malnutrición, promover la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible, así como la producción sostenible para aprovechar los recursos de forma óptima reduciendo los costos. Valga mencionar que también están acordes con las políticas de Seguridad Alimentaria y las acciones establecidas por el Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1998) y el Acuerdo de París sobre cambio climático (2015) en el marco de la lucha por evitar los efectos dañinos del cambio climático, evidenciados por el calentamiento global.

Cabe mencionar que la pandemia de COVID 19 dejó como lección la necesidad de tener una buena alimentación para mantener una buena salud, dadas las comorbilidades presentes que agravaron el estado de salud de los enfermos contagiados durante la pandemia, por ejemplo, la obesidad. Los germinados que son un excelente alimento de calidad, son fuente de proteínas y vitaminas que van disminuyendo conforme crece la planta y se somete a procesos de refinación. Los germinados de alfalfa, se considera como uno de los germinados más completos, más consumido y con un sabor más agradable, contiene vitaminas A, B, C, E y K, calcio, magnesio, potasio, hierro, selenio y zinc, así como también aminoácidos esenciales.

En este trabajo se diseñó y construyó un germinador de semillas, en primer lugar, se realizó un análisis cuantitativo para determinar las características principales de los germinadores, consultando las patentes en las bases de datos de Estados Unidos Europa, Latinoamérica, la internacional y la de México. En una segunda fase del proyecto, se realizó el diseño y se construyó el prototipo, este fue validado mediante un diseño experimental para la producción de germinados bajo diferentes condiciones. Finalmente se realizó el análisis estadístico de los germinados para validar el prototipo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar, construir e implementar un prototipo didáctico para la germinación de semillas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis cuantitativo de germinadores para determinar el diseño y condiciones ambientales más aptas para la germinación de las semillas.
- Diseñar un prototipo de germinador de semillas con control de temperatura y humedad.

- Construir el prototipo de germinador de dos niveles que cuente con recirculación de agua y monitoreo y control de temperatura y humedad.
- Validar el prototipo con semillas de alfalfa y frijol.

1.3 Justificación

En el artículo “Alimentación adecuada para mejorar la salud y evitar enfermedades crónicas”, Bolet y Socarrás (2010) citan que la forma de alimentación puede mejorar la salud y evitar enfermedades; en efecto, el estilo actual de las personas causa múltiples desórdenes y funcionamiento inadecuado del metabolismo. Adicionalmente, los alimentos, el agua, el aire y la tierra están cada vez más contaminados con sustancias tóxicas; por este motivo es esencial tener un buen equilibrio en los alimentos que se consumen, comer con moderación y recordar que los excesos pueden dañar al organismo.

Las características más adecuadas para una buena alimentación varían en las personas de acuerdo con sus condiciones de salud, edad, género, entre otros; sin embargo, de forma general, se recomienda consumir cereales integrales (entre 40-60%), vegetales (entre un 20-30 %) y leguminosas (5-10 %); estos son fuente de vitaminas, minerales, proteínas, etc. De ahí la importancia de consumir germinados que son una fuente de proteínas, por ejemplo, los producidos a partir de la planta de arroz, si se consume a nivel de germinado aportará proteínas, grasas y vitaminas que van disminuyendo conforme crece la planta y además cuando se somete a procesos de refinación.

Según García (2015), uno de los alimentos que se deben incluir en la alimentación son los germinados de semillas. La germinación consiste en una actividad metabólica en la que las semillas despiertan de su estado latente y empiezan a multiplicar sus nutrientes para dar alimento a la planta que está empezando a desarrollarse. En estos germinados se tienen múltiples reacciones completas para generar síntesis de nuevas enzimas. Los cambios químicos que sufren la semilla activan una fábrica enzimática poderosa, es por esto la importancia de los germinados, puesto que tienen un valor mayor nutritivo. Además de síntesis de enzimas, también hay aminoácidos, vitaminas, ácidos grasos, compuestos reguladores, entre otros.

Por tal motivo, se considera que los germinados es una excelente alternativa para ayudar a resolver uno de los principales problemas que afectan la salud de las personas en todo el mundo: la obesidad. De acuerdo con Rodrigo Rojas (2020), la obesidad se incrementó durante la pandemia de COVID-19; hasta hace algunas décadas se tenía un problema de desnutrición y hoy en día el problema es por el exceso de alimentación. Además, según informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de los 1,900 millones de adultos con sobrepeso reportados, 650 millones tenían obesidad; los datos estadísticos indican que cada año estas condiciones provocan la muerte de 2.8 millones de personas. La evolución de la obesidad ha tenido una presencia global, en años anteriores esta situación era un problema de las naciones desarrolladas o de altos ingresos, sin embargo, hoy está presente en cualquier país, sin importar su situación económica.

En la Tabla 1.1 se observan los países con mayor índice de obesidad, contando solo a la población adulta, tomado del informe de la Organización para la Cooperación y Desarrollo económicos (OCDE). destacan en los primeros tres lugares Estados Unidos, México y Nueva Zelanda. Por el contrario, naciones como Japón, Corea de Sur, Italia, Suiza y Noruega son los países con menor índice de obesidad. Cabe señalar que México no solo ocupa el segundo lugar en obesidad de adultos, sino también el primer lugar en obesidad infantil, por lo que es necesario generar una alternativa de alimentación sana para la reducción de estos índices.

Tabla 1.1 Países con mayor porcentaje de adultos obesos de acuerdo a Rodrigo Rojas (2020).

Países	Porcentaje (%)
Estados Unidos	38.2
México	32.4
Nueva Zelanda	30.7
Hungría	30
Australia	27.9

Reino Unido	26.9
Canadá	25.8
Chile	25.1
Finlandia	25.1
Alemania	23.6

Por otra parte, la agenda 2030 menciona los objetivos de desarrollo sostenible, tiene alcance en América Latina y el Caribe y fue aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas; incluye temas altamente prioritarios y como se observa en la Figura 1.1 contiene 17 objetivos con 169 metas, el presente trabajo contribuye a los siguientes objetivos:

- Número 1 Fin de la pobreza. Este objetivo está orientado a combatir el hambre y la malnutrición poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo; el prototipo plantea tener una cantidad autosuficiente de germinador para la alimentación de las familias.
- Número 2 Hambre Cero. Poner final al hambre, lograr seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible: en el 2015 se tenían 925 millones de personas que viven hambre y para el 2050 se espera tener 2000 millones adicionales a la cifra, lo que implicará una mayor demanda de alimentos para la población mundial. El prototipo se espera que lograra proporcionar a las familias una alimentación sana, nutritiva y suficiente todo el año.
- Número 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todos a todas las edades. Se espera contribuir a garantizar una vida saludable y promover el bienestar para toda la familia en cualquier edad, esto para prevenir enfermedades para las personas.
- Número 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, a través del prototipo se aprovechará el uso de los recursos, en este caso el agua, se pretende reducir costos, la idea es realizar más y mejores cosas mediante menos recursos.



Figura 1.1 Objetivo del desarrollo sostenible (ONU, 2022).

II

Marco teórico

2 Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Antecedentes

México es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, se han observado varios impactos, por ejemplo, desde la década de los años sesenta se ha reducido la cantidad de días frescos y las noches son más cálidas resultando en que el país se ha vuelto más cálido. A nivel nacional, las temperaturas han aumentado en promedio 0.85 °C y aún más en invierno con 1.3 °C; por otra parte, la precipitación pluvial se ha reducido, pero en algunos casos se presentan temperaturas extremas y lluvias torrenciales provocando inundaciones e incendios, también han aumentado los huracanes, las sequías y los deslaves. Todo lo anterior ha ocasionado altos costos económicos para el sector alimenticio. El Instituto Nacional de Cambio climático (INECC) ha encontrado que de los 2546 municipios en los que se divide el país, 480 (aproximadamente 20%) tienen un nivel de vulnerabilidad de cambio climáticos muy alto o alto (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, 2020). De acuerdo con la bióloga María Daniel Vargas Nieto de la Pontificia Universidad Javeriana Colombia (2022), en sus estudios del banco de semillas, logró identificar los efectos del cambio climático en semillas bajo tierra, afirma que el cambio climático redujo las lluvias ocasionando sequías, lo que implica que las semillas nuevas no restituirán a la vegetación adulta lo cual es un problema alarmante. Esta situación no solo afecta la producción de semillas, sino también su germinación.

Los germinados a pesar de ser alimentos tan pequeños, tiene una alta cantidad de nutrientes, con la ventaja de que aportan muy pocas calorías, por lo que son alimentos esenciales que debe ser incluidos en la dieta. Estos se pueden elaborar desde casa de una manera muy sencilla, casi no ocupan espacio y se pueden cultivar todo el año. La intervención de la automatización en el cultivo de germinados proporciona una alternativa para controlar las condiciones de germinación de las semillas de una mejor manera e incrementar su producción. Existen varios tipos de germinadores con diferentes características y tamaño según la producción deseada, ya que pueden servir para comercializarse en grandes cantidades o bien bajas producciones para el consumo doméstico. En este último caso es deseable un prototipo que sea autosuficiente para el hogar el cual se puede automatizar de forma sencilla y ocupar poco espacio.

En las ciudades el uso de los germinadores es ideal para producir alimentos de calidad dada la falta de tierra de cultivo, por lo que estos equipos contribuyen a lograr los objetivos del Desarrollo Sostenible de la agenda 2030, en donde se encuentra la alimentación como uno de los ejes principales. En efecto, lograr la Seguridad Alimentaria es una meta del Desarrollo Sostenible, con todo lo que implica: hambre y malnutrición cero, alimentación sana y nutritiva, realizar investigación agrícola innovadora, comercio equitativo, sostenibilidad en los sistemas de producción de alimentos para aprovechar los recursos de forma óptima reduciendo los costos, entre otros (ONU, 2022).

2.2 Germinados

Existen varias definiciones de germinados, entre ellas destacan las siguientes, de acuerdo con los autores indicados:

Camacho (1994) define a la semilla en un sentido botánico estricto como un óvulo fecundado, independiente de la planta madre, que ha madurado hasta adquirir la diferenciación y capacidad fisiológica para originar un nuevo vegetal. Moreno (1996) menciona que en términos agronómico y comerciales se conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más completas que se emplean en las siembras agrícolas. Y desde el punto de vista de la botánica, una semilla verdadera es un embrión en estado latente, acompañado o no de tejido nutricional y protegido por el epispermo.

Por otro lado, Camacho (1994) menciona que la germinación es el proceso mediante el cual un embrión adquiere el metabolismo necesario para reiniciar el crecimiento y transcribir las porciones del programa genético que lo convertirán en una planta adulta. Esparza (1996) indica que la germinación puede definirse como la serie secuenciada de eventos morfogénicos que resulta en la transformación de un embrión en una plántula. En dicho proceso se involucra la división y expansión celular, así como la formación de órganos de la

planta como tallos, hojas y raíces. Moreno (1996) señala que las semillas que son capaces de extender la raíz durante la germinación pueden no tener vigor para establecer una planta en condiciones de campo.

Por su parte, Diana de Ciencia eco (2012) menciona que los germinados son alimentos vivos, lo que aumenta el valor nutricional que se mantiene intacto hasta el momento en que se come. Su riqueza en enzimas, clorofila, aminoácidos, minerales, vitaminas y oligoelementos los convierte en alimentos completos que contribuyen a corregir las carencias de la alimentación moderna. Al germinar muchas semillas de cereales o leguminosas se convierten en un alimento fácilmente asimilable porque liberan todos los nutrientes encapsulados y mejoran el valor nutricional de la propia semilla, de la planta o del fruto a la que hubiera dado lugar. Los brotes son un alimento predigerido, por lo tanto, ayudan a su propia digestión, adecuada para estómagos delicados y permiten al organismo que descanse y se regenere. Se pueden cultivar y conservar fácilmente en casa, por lo tanto, son muy económicos, además de tener la seguridad de consumir un producto que no ha sido adulterado ni rociado con insecticidas o fertilizantes químicos, se puede disponer en cualquier época del año con la garantía de que sus nutrientes son de alta calidad biológica pues de lo contrario la semilla no germinaría. Por otro lado, el brote entero puede comerse, incluyendo las raíces y hojas. Son sencillos de preparar, se pueden consumir crudos, ya que la cocción destruye gran parte de su contenido nutricional. Se comen crudos en ensalada, salteados, en tortillas o formados partes de los diversos platos cocinados, estos se recomiendan añadir al final para que no pierda sus propiedades.

2.2.1 Historia de los germinados

Botero, M.A. (2011) menciona que todo comenzó a partir de la teoría del poder curativo alrededor del siglo V y IV antes de Cristo (A. C.), descrita por los seguidores de Hipócrates y Galeno entre los años 460 y 200 A.C. La doctrina sostiene que la naturaleza dota al organismo humano con poderes para restaurarse a sí mismo en su salud. Para Hipócrates la salud está representada en una frase célebre: “Que tu alimento sea tu medicina; que tu medicina sea tu alimento” que es el pilar de las enseñanzas de los germinados y la alimentación viva en la actualidad.

Racines, A. (2011) hace mención que el uso de las semillas germinadas en la alimentación y en la medicina es dos veces más antiguo que la Gran Muralla China de 3000 años antes de cristo como se muestra en la Tabla 2.1, el emperador de china escribía sobre las hierbas medicinales y los frijoles germinados los cuales en esa época eran prescritos para dolencias, contracciones musculares, deficiencias en el funcionamiento de las vísceras, desórdenes digestivos, debilidades pulmonares, problemas relacionados con la piel y el pelo. Desde entonces los chinos y japoneses germinaban los frijoles de soja y la cebada como parte importante de la alimentación diaria y dieta. En la Tabla 2.1 se observan más detalles de la historia de los germinados.

Tabla 2.1 Resumen historia de los germinados, elaborado por Racines, A. (2011).

Año	Personaje histórico	Recomendación
3000 a.C.	Emperador chino Sheng Nung Pen Tsao	Recomendó a su pueblo en la dieta el consumo diario de germinados, sobre todo los derivados de legumbres, acompañados de verduras y frutas variadas.
2500 a. C.	Tao Hung King (China)	Escribió un famoso tratado sobre plantas. Destacó 365 variedades de plantas y legumbres, con enormes propiedades medicinales.
500 a. C	Li Shin Chen (China)	Elaboró varios medicamentos cuyas bases eran legumbres y germinados.

En América y Europa, la ingesta de los germinadores es cada día mayor, ya que han descubierto gran cantidad de propiedades benéficas para el organismo, por ejemplo, contiene altos índices de vitaminas, minerales, proteínas y clorofila, que combinados ayudan a evitar el envejecimiento (antioxidantes), eliminar toxinas, estimular el sistema inmunológico, regular la actividad intestinal y mejorar el desempeño del sistema nervioso.

Durante el siglo XVIII (Botero, M.A. (2011)) el conocido Capitán James Cook, alimentada tu tripulación con trigo germinado para evitar el escorbuto. En el libro “Hunzas Sanos”, John Tobe reporta que los longevos

nativos de la montañosa región de Asia usan los germinados para sobrevivir los largos fríos inviernos. En la primavera, antes de la cosecha y después de la comida almacenada ya hay sido consumida por completo, los Hunzas confían en los brotes como fuente de vitaminas, enzimas y energía. Cabe destacar que este pueblo es conocido como el pueblo más sano y feliz de la tierra. La tierra de los Hunzas es principalmente a base de cereales (trigo, cebada y alfalfa), y pequeñas semillas, así como hortalizas de hoja verde (lechuga y espinaca), vegetales de raíz (zanahorias, nabos, patatas y rábanos), alubias, garbanzos y otras legumbres tales como lentejas y legumbres germinadas (Hebblinck, 1995).

Una investigación realizada en 1992 por el equipo de investigadores dirigido por el doctor Paul Talalay (Director de Ciencia Molecular de la Escuela de Medicina de la Universidad John Hopkins de Blatimore (Estados Unidos) y fundados de The Brassica Chemoprotection Laboratory, se dedica a estudiar las plantas comestibles que promuevan la actividad de enzimas protectoras del organismos que puedan ayudar a prevenir el desarrollo de distintas enfermedades, entre ellas el cáncer, así el sulforafano, un compuesto químico en el brócoli y especialmente en los brotes tiernos de este vegetal (germinados), también aisló su precursor natural: el sulforafano glucosinolato descubriendo que este compuesto natural presente en el brócoli, es el más potente estimular natural conocimos en las enzimas, estas con consideradas la primera defensa del cuerpo frente a las enfermedades, en especial la del cáncer.

2.3 Estadísticas de producción de alfalfa y frijol

Se encontraron estadísticas de producción de alfalfa y frijol, pero no para sus germinados, no obstante, se reportan los datos obtenidos porque dan una idea del potencial de producción de los germinados de estas dos especies vegetales.

2.3.1 Alfalfa

La alfalfa es la planta forrajera más antigua extendida por todo el mundo, es nativa del sureste de Asia, de una región comprendida entre mesopotámica, Persia, Turkestan y Siberia. Es probable que haya sido llevada a Grecia por los persas en el año 490 a.c., y fue usada por los romanos en su conquista a Grecia como alimentos para sus caballos, y llevada a Italia en el año 146 a.c. (Hill, 1937). En la Figura 2.1 se observa un esquema sobre la expansión del cultivo de alfalfa en el mundo.



Figura 2.1 Esquema de expansión del cultivo de alfalfa en el mundo (Hill, 1937).

2.3.1.1 Producción Internacional

Las Figuras 2.2-2.4 muestran estadísticas de la producción de alfalfa de acuerdo con el observatorio de comercio exterior (López et al., 2020). Entre los principales países exportadores de alfalfa, destaca Estados Unidos como el mayor exportador con 8,829.15 toneladas en el año 2020, Figura 2.1. En la Figura 2.2 se muestra que el 56 % de las exportaciones corresponden a Estados Unidos y, por último, en la Figura 2.4 se ve que Japón es el país que más importó Alfalfa en el año 2020, alcanzando 2,188.279 toneladas.

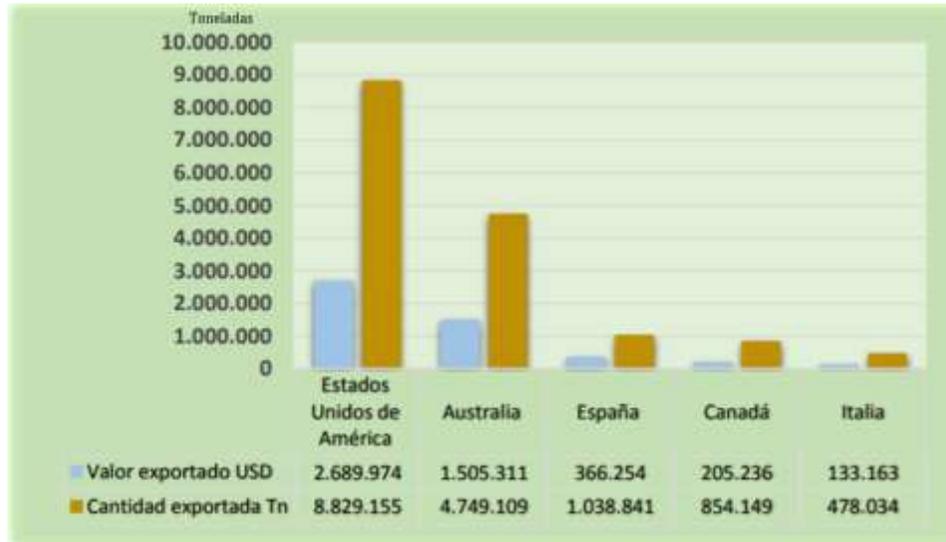


Figura 2.2 Principales exportadores de alfalfa y cantidad exportada en 2020 (López et al., 2020).

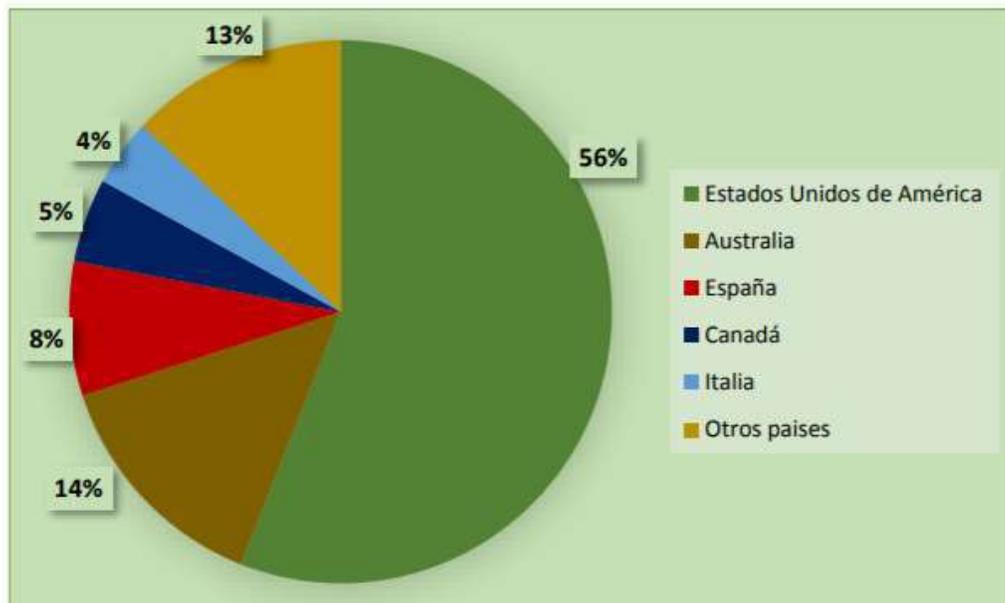


Figura 2.3 Países que participan en las exportaciones mundiales en 2020 (López et al., 2020).



Figura 2.4 Países importadores de alfalfa 2020 (López et al., 2020).

2.3.1.2 A nivel nacional

La Tabla 2.2 y la Figura 2.5 muestran la producción de alfalfa durante los años 2018-2020 (SIAP SADER, 2021) en México por entidad federativa, fueron elaboradas con los datos obtenidos en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México (SADER). Se reportan datos de las hectáreas sembradas y cosechadas, el principal estado sembrador y cosechador de alfalfa fue Chihuahua, estado con una alta actividad ganadera; se debe señalar que los datos anteriormente mencionados solo hacen referencia a la producción de alfalfa, puesto que no se encontraron datos referentes a la producción de sus germinados.

Tabla 2.2 Producción Nacional por Entidad Federativa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER 2021).

No.	Entidad	Sembrada (2018)	Cosechada (2018)	Sembrada (2019)	Cosechada (2019)	Sembrada (2020)	Cosechada (2020)
1	Aguascalientes	5,612.01	5,612.00	5,325.57	5,325.57	5,191.90	5,191.90
2	Baja California	31,189.00	31,147.00	31,066.50	31,024.50	34,300.50	34,297.50
3	Baja California Sur	4,338.00	4,218.00	4,568.00	4,568.00	4,567.00	4,563.00
4	Coahuila	20,244.90	20,244.90	19,875.45	19,875.45	19,651.95	19,651.95
5	Chihuahua	89,688.06	89,688.06	90,206.94	90,206.94	82,954.50	82,944.50
6	Ciudad de México	10	10	5	5	2.7	2.7
7	Durango	30,001.45	29,856.45	30,950.10	30,950.10	31,610.20	31,609.20
8	Guanajuato	44,177.00	44,177.00	44,234.50	44,234.50	44,877.00	44,877.00
9	Guerrero	11.65	8.2	13.3	13.3	18.94	14.05
10	Hidalgo	44,548.00	44,548.00	44,240.00	44,240.00	43,996.00	43,996.00
11	Jalisco	6,635.10	6,635.10	6,594.95	6,594.95	6,560.90	6,560.90
12	México	6,315.85	6,315.85	6,166.45	6,164.45	6,120.10	6,120.10
13	Michoacán	6,082.50	6,072.50	6,176.85	6,176.85	6,224.90	6,224.90
14	Morelos	126.3	126.3	127	127	145.3	145.3

15	Nayarit	87	87	74	74	81	81
16	Nuevo León	2,476.00	2,395.00	2,482.70	2,482.70	2,509.60	2,509.60
17	Oaxaca	3,070.90	3,070.90	3,060.85	3,060.85	3,099.15	3,099.15
18	Puebla	19,273.30	19,273.30	19,139.95	19,139.95	19,222.60	19,222.60
19	Querétaro	7,451.00	7,386.00	7,019.00	7,019.00	6,850.00	6,844.00
20	San Luis Potosí	15,331.25	15,331.25	15,414.50	15,414.50	15,051.50	15,051.50
21	Sinaloa	4,046.73	4,046.73	5,387.00	5,387.00	6,590.20	6,582.20
22	Sonora	24,999.86	24,999.86	27,281.78	27,281.78	26,961.04	26,961.04
23	Tamaulipas	67.5	67.5	81	81	83	83
24	Tlaxcala	2,613.00	2,613.00	2,605.00	2,605.00	2,605.00	2,605.00
25	Veracruz	282	280	288	288	292	292
26	Zacatecas	15,468.20	15,468.20	16,168.50	16,168.50	16,424.80	16,424.80
	TOTAL	384,146.56	383,678.10	388,552.89	388,508.89	385,991.78	385,954.89

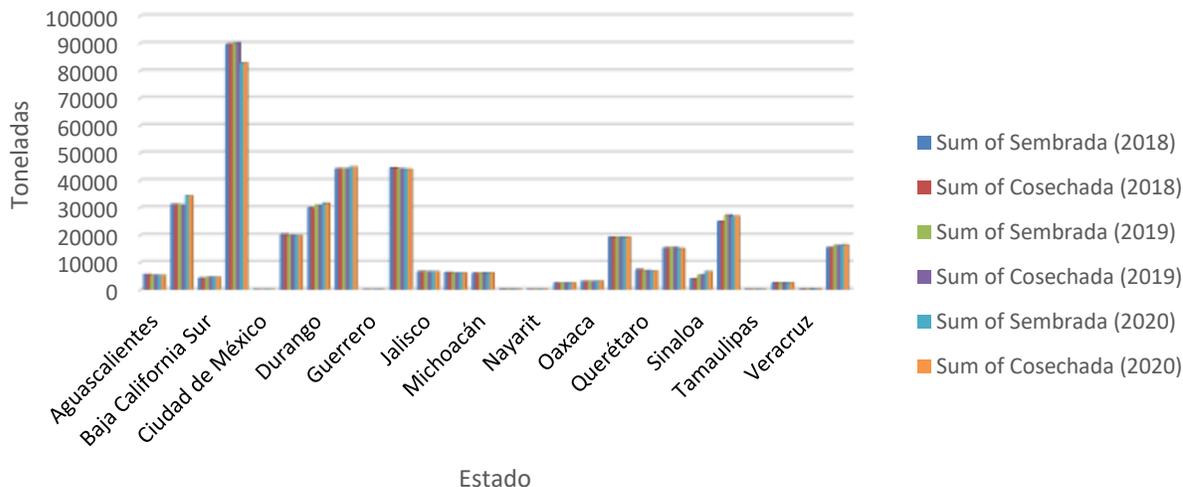


Figura 2.5 Producción nacional de Alfalfa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER 2021).

2.3.2 Frijol

Entre los años 9000 y 5000 a. c. en diferentes partes del mundo se domesticaron diversas especies vegetales entre ellas el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). El conjunto de conocimientos actuales; edad de los restos de fósiles y características morfológicas, estiman que el frijol se originó en Mesoamérica y se comenzó con la domesticación entre los años 5000 y 2000 a.c. en dos sitios del continente americano: Mesoamérica (México y Centroamérica) y los Andes (Sudamérica). A partir del frijol silvestre se formaron dos acervos genéticos domesticados distintos, Mesoamericano y Andino. El uso de nuevas herramientas biotecnológicas y genómicas han ofrecido definitivas sobre el origen, domesticación y diversidad de *P. Vulgaris*. (Hernández, Victor et al., 2013).

2.3.2.1 Producción Mundial

De acuerdo con Olmo Axayacatl (2019), en el año 2019 la producción obtenida de frijol en el mundo fue de 28,902,672 toneladas, con una superficie cosechada de 33,066,183 hectáreas, por lo que el rendimiento promedio mundial fue de 0.9 toneladas por hectárea. La producción de frijol a nivel mundial se muestra en la

Tabla 2.3 y en la Figura 2.6. Los valores están en toneladas, en el año 2017 es cuando se alcanzó la mayor producción de frijol en el periodo 2010-2019 con 28,943,261 toneladas.

Tabla 2.3 Producción de frijol a nivel mundial, Olmo Axayacatl (2019).

Año	Producción (ton)	Superficie cosechada (ha)
2010	24,775,394	30,993,095
2011	24,120,748	30,685,128
2012	24,585,039	29,377,414
2013	25,071,409	29,607,332
2014	27,007,542	30,708,787
2015	27,986,334	31,279,144
2016	28,943,261	34,799,880
2017	31,483,808	36,507,500
2018	29,969,871	35,695,170
2019	28,902,672	33,066,183

En la Tabla 2.4 y Figura 2.6, 2.7 se muestra la superficie cosechada de frijol a nivel mundial se muestra. Todos los valores están en hectáreas. En el periodo 2010-2019, el año 2017 fue el tiempo en que se tuvo la mayor cosecha de frijol.

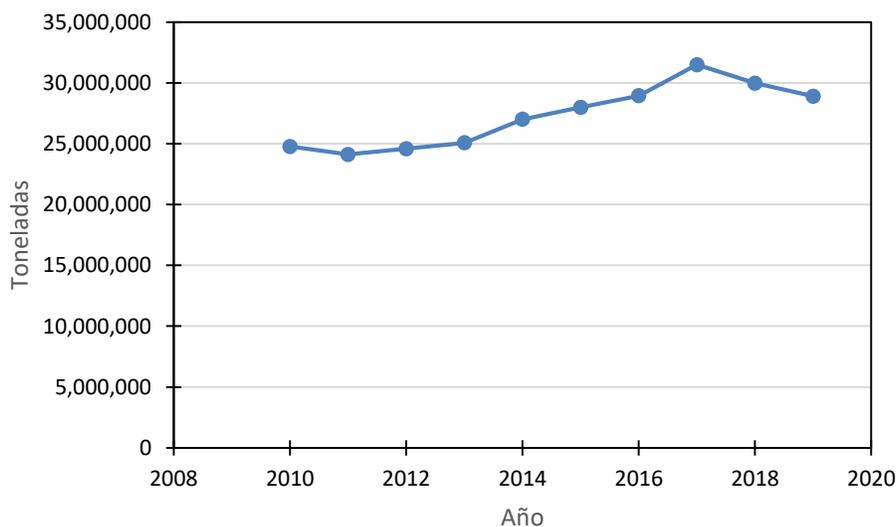


Figura 2.6 Producción de frijol a nivel mundial Olmo Axayacatl (2019).

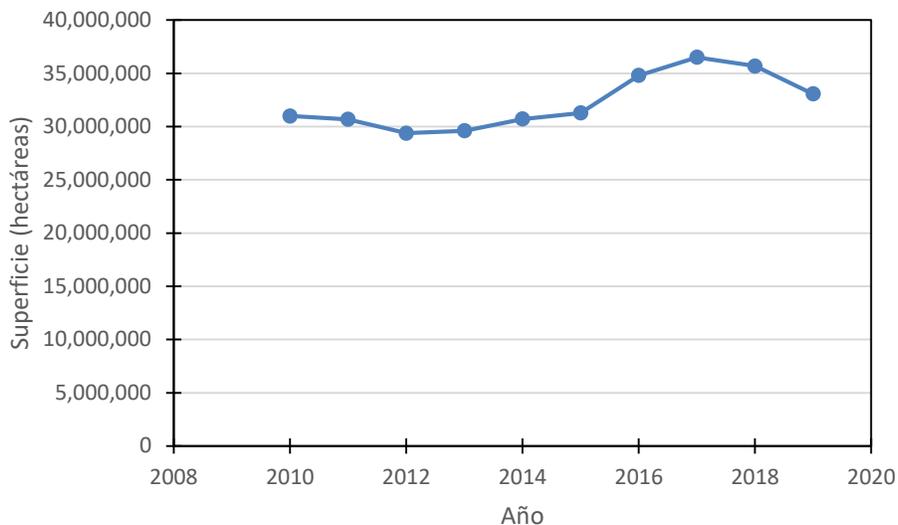


Figura 2.7 Superficie cosechada a nivel mundial de frijol, Olmo Axayacatl (2019).

En la Tabla 2.4 y Figura 2.8 se presenta el rendimiento promedio de frijol a nivel mundial, todos los valores están en toneladas por hectárea. En el año 2017 fue donde se obtuvo el mayor rendimiento por hectárea alcanzando un 90%.

Tabla 2.4 Rendimiento promedio de frijol, Olmo Axayacatl (2019).

Año	Rendimiento (T/ha)
2010	0.8
2011	0.8
2012	0.8
2013	0.8
2014	0.9
2015	0.9
2016	0.8
2017	0.9
2018	0.8
2019	0.9

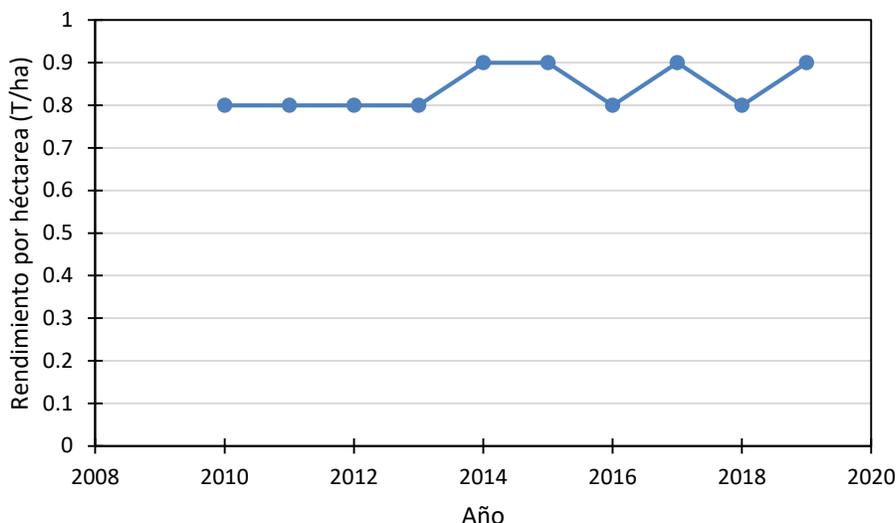


Figura 2.8 Rendimiento promedio de frijol, Olmo Axayacatl (2019).

2.3.2.2 A nivel nacional

Al igual que para alfalfa, no se encontraron datos referentes a la producción de germinados de frijol por lo que solo hacen referencia a la producción de frijol (SIAP SADER 2021). Para elaborar la Tabla 2.6 y la Figura 2.9 también se tomaron los datos del SIAP de la SADER (2021) de la producción de frijol durante los años 2018-2020. Se contemplan datos de las hectáreas sembradas y cosechadas, encontrándose que Zacatecas es el mayor productor de siembra y cosecha de frijol en la República Mexicana en el periodo reportado, le siguen Durango y Chiapas.

Tabla 2.5 Producción Nacional por Entidad Federativa del año 2018 al 2020 (SIAP SADER, 2021).

No.	Entidad	Sembrada (2018)	Cosechada (2018)	Sembrada (2019)	Cosechada (2019)	Sembrada (2020)	Cosechada (2020)
1	Aguascalientes	8,370.00	8,366.00	5,577.00	3,150.00	8,196.00	8,196.00
2	Baja California Sur	933	933	526.5	526.5	1,103.00	1,103.00
3	Campeche	1,665.00	1,649.50	1,579.00	1,536.00	1,551.00	1,525.00
4	Coahuila	2,714.00	2,709.00	2,003.32	1,236.32	2,482.18	2,482.18
5	Colima	4.25	4.25	4	4	4.5	4.5
6	Chiapas	112,319.44	106,955.59	114,612.36	105,553.19	115,168.46	106,388.46
7	Chihuahua	98,577.75	98,543.75	86,398.03	81,058.03	74,321.00	42,625.00
8	Ciudad de México	74.8	74.8	79.69	79.69	66.6	66.6
9	Durango	220,336.00	190,804.75	174,689.00	170,853.50	235,986.50	235,959.50
10	Guanajuato	70,626.21	66,280.20	68,912.92	62,531.92	69,335.10	53,531.10
11	Guerrero	18,543.73	17,994.23	18,764.92	17,771.77	18,570.17	17,347.72
12	Hidalgo	22,759.99	21,105.99	22,868.28	20,053.54	21,456.97	20,110.22
13	Jalisco	12,357.69	12,105.69	11,529.60	11,386.27	12,875.13	12,680.63
14	México	3,513.35	2,953.75	5,076.82	4,195.50	4,493.28	4,147.17
15	Michoacán	4,411.70	3,407.80	3,747.66	3,111.93	3,099.52	2,767.72
16	Morelos	851.3	827.3	703.8	685.8	866.92	857.92

17	Nayarit	78,080.00	78,080.00	61,798.15	61,771.15	79,747.75	73,922.75
18	Nuevo León	1,488.00	694	3,190.00	2,532.00	1,043.00	688
19	Oaxaca	36,080.36	32,910.21	34,343.40	26,083.26	35,808.05	31,803.91
20	Puebla	48,622.00	44,911.70	51,180.09	46,503.82	47,229.37	38,446.37
21	Querétaro	7,884.00	5,604.50	7,359.45	4,461.23	6,220.85	1,237.05
22	Quintana Roo	1,928.50	1,921.50	3,250.50	3,216.00	2,884.50	2,529.80
23	San Luis Potosí	114,630.80	66,079.80	88,618.15	14,730.15	128,343.34	98,580.34
24	Sinaloa	96,387.49	96,337.49	67,928.78	67,483.66	83,661.26	81,664.70
25	Sonora	10,748.48	10,521.23	8,441.73	7,798.12	10,115.97	9,834.47
26	Tabasco	2,997.50	2,784.50	2,905.50	2,905.50	2,997.00	2,933.00
27	Tamaulipas	1,902.99	444.99	2,425.20	431.2	9,393.00	4,565.00
28	Tlaxcala	2,647.00	2,647.00	2,889.21	2,889.21	2,567.90	2,567.90
29	Veracruz	33,363.60	30,798.10	34,591.71	28,405.14	35,869.45	34,082.69
30	Yucatán	442.46	442.46	412.5	412.5	331	329
31	Zacatecas	660,278.00	587,406.50	525,142.50	413,916.64	660,566.50	639,850.50
	TOTAL	1,675,539.39	1,496,299.58	1,411,549.77	1,167,273.54	1,676,355.27	1,532,828.20

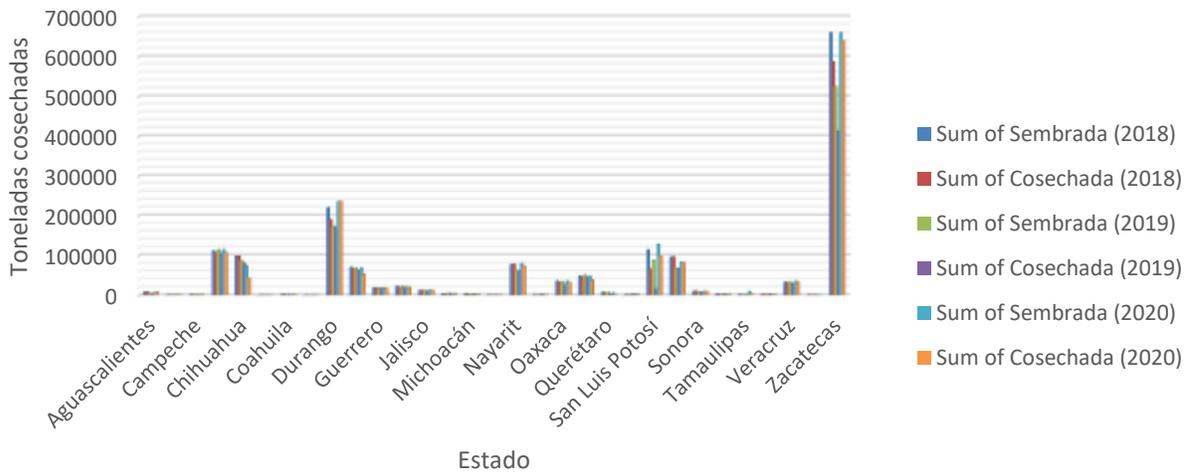


Figura 2.9 Producción nacional de frijol del año 2018 al 2020 (SIAP SADER, 2021).

2.4 Composición de los germinados

2.4.1 Composición proximal y nutricional de la alfalfa

En la Tabla 2.7 se observa la composición proximal de la alfalfa en base seca, donde destaca el alto contenido de fibra con un 46.45 %. El germinado de alfalfa, se considera como uno de los germinados más completos, más consumido y con un sabor más agradable. Contiene vitaminas A, B, C, E y K, calcio, magnesio, potasio, hierro, selenio y zinc, así como también cuenta con los aminoácidos esenciales más importantes.

Tabla 2.6 Composición proximal de la alfalfa.

Compuesto	De Morfin y Camacho (1987) Base seca	López et al. (2020)
Humedad (%)	-	9.78
Proteína cruda (%)	17.93	20.25
Extracto etéreo (%)	3.21	1.94
Cenizas (%)	9.69	10.53
Extracto libre de nitrógeno (%)	22.82	32.06
Fibra (%)	46.45	35.22

2.4.2 Composición proximal y nutricional del frijol

En la Tabla 2.8 se observa la composición química de diversas variedades de frijol, el frijol bayo es el más común, contiene un 43.58 % de proteína y 39.18% de carbohidratos (Fernández et al., 2012). Los datos indican que el frijol es un alimento muy completo, contiene altos porcentajes de carbohidratos y sobre todo proteínas, en menor cantidad, pero no por eso menos importante, es su contenido de fibra, además tiene bajo contenido de agua y grasa. En fresco, como ejote, disminuye su contenido de proteína y carbohidratos aumentando significativamente el porcentaje de fibra. Como semilla, aumenta aún más el contenido de proteínas, en consecuencia, los germinados de frijol también contienen una cantidad alta de esta. En la Tabla

Tabla 2.7 Composición química del frijol (Fernandez et al., 2012).

Variedades de frijol	Parámetros fisicoquímicos						
	Ceniza (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	Fibra (%)	Carbohidrat os (%)	Proteína (%)	Energía (Kcal)
Bayo	4.01bc*	0.93 a	1.67 ab	5.55 b	39.18 bc	43.58 a	337.46 a
Pinto	2.53 d	0.85 a	2.53 ab	7.18 b	39.02 bc	48.98 a	326.56 a
Peruano	3.60 bc	0.48 a	2.25 ab	7.09 b	60.09 a	28.32 b	322.25 a
Negro	3.36 cd	0.97 a	2.26 ab	12.22 ab	39.21 bc	39.76 ab	284.53 ab
Alubia	4.36 b	1.64 a	2.22 ab	19.86 a	38.07 bc	35.43 ab	222.93 b
Flor de Mayo	3.81bc	0.99 a	0.16 b	7.57 b	46.80 ab	40.95 ab	328.48 a
Ejote entero	8.24 a	1.30 a	0.79 ab	18.60 a	34.67 bc	36.33 ab	221.55 b
Vaina	8.31 a	0.59 a	0.65 b	13.24 ab	38.19 bc	39.09 ab	261.13 ab
Semilla	7.81 a	1.38 a	3.68 a	11.35 ab	26.87 a	49.30 a	270.13 ab

Tabla 2.8 Análisis proximal de la semilla de frijol (De Morfin y Camacho, 1987).

Compuesto	Porcentaje (%) base seca
Humedad	3.68
Proteína cruda	49.3

Extracto etéreo	1.38
Cenizas	7.81
Fibra	11.35
Carbohidratos	26.87

En la parte nutricional, el frijol es una fuente importante de proteínas (14 a 33%), almidón, vitaminas del complejo B, minerales (Ca, Cu, K, Mg, P, y Zn) y fibra alimentaria (15.5 a 21.0 g por cada 100 g de grano cocinado). Es deficiente en aminoácidos azufrados y triptófano, pero contiene cantidades suficientes de lisina (1.2 a 1.5 g por 100 g de grano) (Peña-Valdivia et al., 2011). En la Tabla 2.9 se observa la información nutrimental de los germinados de frijol, de acuerdo con Diana de Ciencia eco (2012).

Tabla 2.9 Información nutrimental del frijol (Diana de Ciencia eco, 2012).

Nutrientes	Descripción
Aminoácidos esenciales	Los germinados, especialmente de legumbres proporcionan al organismo proteínas completas que se transforman en los ocho aminoácidos esenciales. La falta de uno sólo de estos compuestos puede favorecer la aparición de alergias, debilidad, mala digestión, deficiencias en la inmunidad o envejecimiento prematuro de células.
Vitamina C	Vitamina que más aumenta por efecto de la germinación. Los brotes de trigo, lentejas, soja, garbanzos y judías son excelentes fuentes de esta vitamina. Por ejemplo, la soja incrementa su contenido en vitamina C hasta en un 100 % y los brotes de trigo en un 600 % en sólo 5 días.
Betacarotenos (provitamina A)	El germinado de alfalfa, por ejemplo, contiene más betacarotenos que el tomate o el pimiento verde y muchas frutas. Los germinados de col y guisantes también son excelentes fuentes de esta vitamina esencial para el crecimiento, el desarrollo, la buena vista y el aparato reproductor.
Vitamina B	La tiamina (B1), la riboflavina (B2) y el niacina (B3) son abundantes en los germinados de alfalfa, trigo, girasol, centeno y sésamo. Contribuyen al buen funcionamiento del sistema nervioso.
Vitamina E	Esta vitamina actúa como antioxidante celular, es un excelente protector del corazón y un buen tónico. El trigo germinado llega a incrementar hasta tres veces su contenido.
Vitamina K	Posee propiedades coagulantes, se encuentra la alfalfa germinada.
Clorofila	Las semillas germinadas que más clorofila sintetizan son las de trigo y las de alfalfa. La clorofila es absorbida directamente por la sangre a través del sistema linfático, en el torrente sanguíneo activa el metabolismo celular, mejor la defensa, resistencia, capacidad regeneradora de las células, y la respiración, entre otras propiedades, potencia los procesos naturales de curación, depura la sangre, frena las infecciones y equilibra la relación ácido-base en el organismo.
Calcio	Los germinados de sésamo proporcionan abundante calcio, también son excelentes fuentes de este mineral, como son los brotes de almendra, girasol, alfalfa y garbanzo.
Potasio	Se encuentra en los brotes de almendras, sésamo, girasol, soja y judías.
Hierro	Contienen cantidades importantes en los brotes de alfalfa, fenogreco, lentejas, soja roja y soja verde.
Oligoelementos	Los germinados contienen oligoelementos como el yodo, zinc, el selenio, el silicio, el cromo y el cobalto
Enzimas	Los germinados contienen grandes cantidades de enzimas, puede tener más que la planta o la semilla, son enzimas diastasas que facilitan la digestión de las macromoléculas.

2.5 Prácticas de propagación de plantas

2.5.1 Latencia de semillas: elección de tratamiento de las semillas

Santiago V y Arana V (2011) definen estado de dormición, latencia o letargo como la incapacidad de una semilla intacta y viable, de germinar bajo condiciones de temperatura, humedad y concentración de gases que serían adecuadas para la germinación. La palabra latencia proviene del latín “latensis” y significa oculto, escondido o aparentemente inactivo para referirse a la incapacidad de la semilla para germinar. Citan que existe un amplio rango de intensidades de latencia; latencia absoluta en la que la germinación no se produce bajo ninguna condición, intensidades intermedias donde las semillas pueden germinar en un rango de condiciones

ambientales estrechas (por ejemplo, incubadas a cierta temperatura), hasta un extremo donde no hay latencia, situación en la que las semillas pueden germinar en un amplio rango de condiciones ambientales.

Por tal motivo, los tratamientos pre-germinativos son de gran relevancia para mejorar la producción. Por definición, la germinación involucra todos aquellos procesos que comienzan desde la absorción de agua por la semilla quiescente, y terminan con la elongación del este embrionario. El nivel de latencia varía con la procedencia de las semillas, con el año de la cosecha y varía incluso dentro de un mismo lote de semillas. En la Tabla 2.11 se detallan los distintos tipos de latencia, de acuerdo con Hartmann y Kester (1988) y Willan (1991).

Tabla 2.10 Tipos de latencia.

Tipos de latencia	Denominación	Descripción
Latencia por cubierta de las semillas	Latencia física	Características de un gran número de plantas, en las cuales la cubierta seminal o secciones endurecidas de otras cubiertas de la semilla son impermeables. El embrión está encerrado dentro de una cubierta impermeable que puede preservar las semillas con bajo contenido de humedad durante varios años, aún a temperaturas elevadas.
	Latencia mecánica	En esta categoría las cubiertas de semillas son demasiado duras para permitir que el embrión se expanda durante la germinación.
	Latencia química	Corresponde a la producción y acumulación de sustancias químicas que inhiben la germinación, ya sea en el ruto o en las cubiertas de las semillas.
Latencia morfológica o endógena	Esta se presenta en aquellas familias de plantas cuyas semillas, específicamente en el embrión, no se han desarrollado por completo en la época de maduración. En esta categoría existen dos grupos	
	Embriones rudimentarios	Semillas cuyo embrión es apenas algo más que un endosperma, al momento de la maduración del fruto.
	Embriones no desarrollados	Algunas semillas en la madurez del fruto tienen embriones poco desarrollados, con forma de torpedos, que pueden alcanzar un tamaño hasta la mitad de la cavidad de la semilla.
Latencia interna	Control interno	En muchas especies la latencia es controlada internamente en el interior de los tejidos. En el control interno de la germinación están implicados dos fenómenos separados. El primero es el ejercido por la semipermeabilidad de la cubierta de las semillas y el segundo es el letargo presente en el embrión que se supera con exposición a enriamiento (maceración) en húmedo.
	Fisiológica	La germinación es impedida por un mecanismo fisiológico inhibitor.
	Interno intermedio	Es inducida principalmente por las cubiertas de las semillas y los tejidos de almacenamiento circundante.
	Del embrión	Se caracteriza principalmente porque para llegar a la germinación se requiere un periodo de enfriamiento en húmedo y por la incapacidad del embrión de germinar con normalidad.
Latencia combinada morfofisiológica	Es la combinación del subdesarrollo del embrión con mecanismos fisiológicos inhibidores fuertes.	
Latencia combinada exógena	Se denomina así a las diversas combinaciones de latencia de la cubierta o el pericarpio con latencia fisiológica endógena.	

En la naturaleza existen diversos factores externos que actúan para poner fin a la latencia, entre estos se encuentran la alternancia de calor y frío, la alternancia de condiciones húmedas y secas, el fuego, la ingesta por parte de animales y la acción de organismos del suelo. También se ha demostrado que, en el mantenimiento o la interrupción de la latencia, actúan factores internos como las hormonas del crecimiento. Por otra parte, la latencia presenta algunas ventajas que pueden aprovecharse durante el periodo que transcurre entre la recolección de las semillas y su utilización; por ejemplo, almacenamiento de las semillas por largos periodos. Por último, tanto en las semillas sin latencia, como en las de latencia, la germinación ocurre en un rango de condiciones favorables, las cuales varían de acuerdo con los requerimientos de cada especie. Generalmente, estas condiciones incluyen: humedad suficiente, temperaturas favorables, intercambio de gases suficiente y luz adecuada.

2.5.2 Condiciones de almacenamiento de las semillas

El almacenamiento es la conservación de semillas en condiciones ambientales controladas para mantener la viabilidad de estas durante largos periodos, desde la cosecha hasta que el agricultor necesite las semillas para la siembra. El propósito del almacenamiento de las semillas es mantenerlas en buenas condiciones físicas y fisiológicas, desde la cosecha hasta la siembra. Tradicionalmente, el propósito principal del almacenamiento de las semillas es conservar reservas de semillas para la siembra o plantación en la siguiente temporada. Sin embargo, un almacenamiento prolongado, es decir, conservarse por dos años o más tiene el fin de satisfacer la demanda futura o por distintas razones: conservar el material de variedades bien adaptadas, la percepción del riesgo de pérdida de cosechas en condiciones difíciles, variaciones en la demanda del mercado de ciertos cultivos y semillas, eliminación de las necesidades de producir semillas cada temporada, proporciona tiempo suficiente para romper el letargo o conservación de recursos genéticos.

Los recipientes utilizados para el almacenamiento suelen ser de tarros de vidrio, tubos de ensayo, latas metálicas herméticas y bolsas de aluminio laminado (Chin, 1994; Iriando y Pérez, 1999).

De acuerdo con Harrington (citado por Justice y Bass, 1978), existe una relación exponencial entre la longevidad de las semillas, la temperatura y el contenido de humedad de almacenamiento, de manera que la longevidad de una semilla se duplica por cada reducción de 5°C en la temperatura y por cada reducción de un 1% en el contenido de humedad. Las semillas conservadas a muy bajas temperaturas y con muy bajo contenido de humedad deberían mantenerse durante milenios. Sin embargo, Vertucci y Ross (1990) y Ellis et al. (1990) han demostrado que existen límites a los efectos beneficiosos de la desecación sobre la longevidad y que estos límites dependen de la composición química de la semilla.

También se ha comprobado que, en contra de lo establecido por las reglas de Harrington, los efectos de la temperatura y el contenido de humedad no son independientes (Vertucci y Ross, 1993). De esta forma, el uso apropiado de estos dos factores proporciona una vía aceptable para la conservación a largo plazo de muestras de semillas.

Los métodos de conservación convencionales normalmente incluyen el almacenamiento a temperaturas comprendidas entre 5°C y -20°C. En la conservación a largo plazo las semillas se almacenan normalmente a -18°C, mientras que la conservación a medio plazo se utiliza a una temperatura de 0 a 10° (Ellis et al., 1985).

2.5.2.1 Tipos de almacenamiento

Existen dos modalidades de conservación de las semillas almacenadas: las colecciones base, conservan las muestras de semillas a largo plazo para seguridad, y las colecciones activas, que mantiene muestras de semilla para el uso inmediato. Estas condiciones varían en cuanto a contenido de humedad de las semillas y condiciones de almacenamiento; recipientes, temperatura y humedad relativa. La colección base es un conjunto de accesiones únicas, cuya integridad genética es lo más cerca posible a la muestra original. Las semillas de una colección base por lo general no se distribuyen directamente a los usuarios; solo se utiliza para regenerar colecciones activas. Las colecciones base se almacenan durante periodo prolongados a temperaturas bajo 0°C, generalmente entre -18 y -10 °C para mantener la viabilidad de las semillas.

Las colecciones activas se componen de accesiones que están disponibles para la distribución inmediata. Estas son de acceso frecuente y se mantienen en condiciones que garanticen una viabilidad de por lo menos 65% durante 10-20 años.

En algunos lugares utilizan otras alternativas para la conservación de las semillas y consisten en manera general en: reducir los costos de refrigeración, para lo cual utilizan un contenido de humedad bajo y almacenan a una temperatura más alta.

2.5.2.2 Factores que afectan a la duración de las semillas en almacenamiento

El mantenimiento de la calidad de las semillas y su longevidad cuando están almacenadas depende de diversos factores. En general, un bajo contenido de humedad y diferentes combinaciones de humedad y temperatura se pueden utilizar para prolongar la viabilidad de las semillas durante el almacenamiento. En la Tabla 2.12 se enlista los factores que afectan a la duración de las semillas en su almacenamiento.

Tabla 2.11 Factores que afectan a la duración de las semillas en el almacenamiento

Factores	Descripción
Tipo de semilla	Algunas son muy sensibles al secado y a la temperatura, lo que influye en la capacidad natural del almacenamiento.
Calidad inicial de las semillas	La calidad de un lote de semillas no se puede mejorar por ponerlas en almacenamiento, ya que la función de un buen almacenamiento consiste solo en mantener la calidad del lote de semillas impidiendo un rápido deterioro de la calidad. La conservación de las semillas depende de su calidad al inicio del almacenamiento debido a que las semillas de calidad inicial alta son mucho más resistentes a las condiciones desfavorables en el entorno de almacenamiento que las semillas de baja calidad.
Contenido de humedad de las semillas	Es necesario secar las semillas hasta obtener un contenido de humedad inocuo, porque el nivel de humedad es probablemente el factor más importante que influye en la viabilidad de las semillas durante su almacenamiento. En general, si el contenido de humedad aumenta, disminuye la duración del almacenamiento. Un alto contenido de humedad puede dar lugar a la formación del moho y consiguientes pérdidas rápidas; un contenido muy bajo puede ocasionar una desecación extrema, y causar daños a las semillas y endurecimiento.
Humedad y temperatura relativas	La humedad relativa es la cantidad de agua presente en el aire a una temperatura dada en proporción a su máxima capacidad de retención de agua. El contenido de humedad de las semillas cambia constantemente en función de la temperatura y la humedad relativa del medio ambiente que rodea la semilla. Las semillas son higroscópicas, absorben fácilmente y liberan agua en fusión de la cantidad de agua que los rodea. Las semillas absorben o pierden humedad hasta que la presión del vapor de la humedad de la semilla y la humedad ambiental logran el equilibrio; en este punto las semillas alcanzan un contenido de humedad específico y característico: el contenido de humedad de equilibrio.

2.5.2.3 Plagas de su almacenamiento y control

Una pérdida importante de semillas durante el almacenamiento se debe a invasiones de insectos. La mayoría de las plagas de insecto son escarabajos (coleoptera) o palomillas. Muchos se alimentan de los embriones de los cereales, lo que se traduce en una reducción del contenido de proteína de la semilla o un menor porcentaje de semillas que puedan germinar. Los insectos atacan las semillas de cereales y las legumbres se dividen generalmente en plagas primario y plagas secundarias. Los insectos primario de los cereales atacan los granos enteros, intactos; las plagas secundarias solo atacan los granos dañados, el polvo de cereal y los productos de molino.

Las plagas primarias atacan y se crían en cereales y legumbres sin daños, pero rara vez se nutren con alimentos molidos y triturados. Estas por lo general son más destructivas que las plagas secundarias, especialmente a corto plazo. En la Tabla 2.11 se enlistan las principales plagas de almacenamiento de semillas.

Tabla 2.12 Principales plagas de almacenamiento de granos.

Plagas	Descripción
Barrenador menor de los cereales	Es considerado un escarabajo y se encuentra en casi todo el mundo, es la plaga más grave de los cereales almacenados en muchos países. Es de color marrón oscuro, de forma cilíndrica y de unos 3 mm de largo, su cabeza está oculta por el tórax cuando es visto desde arriba, como se muestra en la Figura 2.10.
Palomilla Angoumois del cereal (<i>Sitotroga cerealella</i>)	Presente en casi todo el mundo, es una de las plagas importantes del arroz, el mijo perla, el sorgo, el trigo y el maíz. Es de color amarillo-marrón con manchas y de 12 a 20 mm de largo, como se muestra en la Figura 2.11.
Ácaros de almacenamiento	Son las más pequeñas de los productos almacenados. Son de tamaño microscópicos y difíciles de ver a simple vista y, por tanto, a menudo pasan inadvertidos. Sin embargo, tienen una alta tasa de reproducción y pueden reaparecer en las superficies como un polvo de color marrón o grisáceo o como material esponjoso, en cereales muy infestados, pueden aparecer como un movimiento ondulante. La presencia de "polvo de ácaros" a menos es una advertencia e indica que hay más zonas muy infestadas no muy lejos. A diferencia de los insectos adultos, que tienen una cabeza evidente, tórax, abdomen y seis patas, el ácaro adulto tiene un cuerpo como saco con ocho patas, mientras que la larva tiene seis patas. Los ácaros son resistentes al frío, la mayoría se alimentan de cereales rotos, semillas de maleza y mohos. Los ácaros aparecen

	comúnmente en los graneros de las fincas e incluyen el ácaro de los cereales, los ácaros de pelo largo, el ácaro canibal y los ácaros satinados de los cereales.
Ratas y ratones	Son las que atacan a los cereales y las semillas durante el almacenamiento son plagas de importancia económica, que producen importantes daños en los almacenes de cereales y semillas en los países en desarrollo, afectan en la seguridad alimentaria y reducen los ingresos de los pequeños agricultores. Se alimentan directamente de los granos y los echan a perder, también dañan otros materiales con incesante roer. Aparte de consumir y destruir grandes cantidades de granos y alimentos almacenados, las ratas y los ratones destruyen miles de kilogramos de semillas todos los años. Los roedores no sólo comen semillas, las dispersan y las mezclan, además de contraminadas con sus heces, orina y pelos. Las ratas también propagan peligrosas enfermedades humanas, como la peste bubónica, la fiebre Lassa, la fiebre tifoidea y la meningitis.
Aves	Son consideradas una plaga, las pérdidas debidas a las aves son pequeñas en comparación con las causadas por los roedores, porque las aves no infestan las estructuras de almacenamiento ni viven en ellas como los roedores; cuentan con su movilidad para buscar rápidamente lugares para alimentarse. Las semillas son vulnerables a las aves cuando están expuestas a la intemperie. Cuando los granos se almacenan en mallas abiertas, las aves pueden entrar en las estructuras de almacenamiento, y son una molestia y crean condiciones no higiénicas; daños materiales o descomposición de semillas por alimentación directa, contaminación de las semillas con excremento y plumas, riesgos de seguridad y salud ocupacional, daños a edificios de almacenamiento, maquinaria y vehículos.

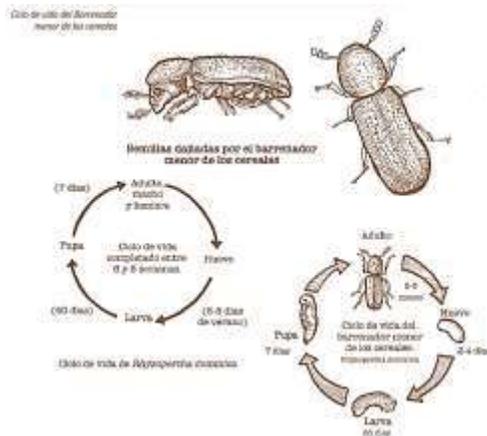


Figura 2.10 Ciclo de vida de *Rhyzopertha Dominios*, tomado de Samuel Kugbei ex Oficial Señor de la FAO (2019).

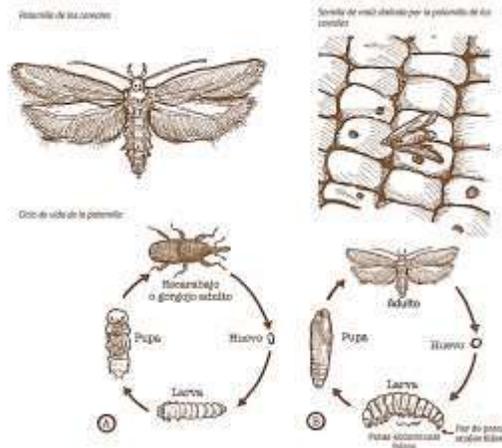


Figura 2.11 Palomilla Angoumois del cereal (*Sitotroga cerealella*), tomado de Samuel Kugbei ex Oficial Señor de la FAO (2019).

Por otro lado, las plagas secundarias atacan materiales dañados, es decir, los que ya están deteriorados por otras plagas primarias o secundarias de una trilla, secado y manipulación deficientes y productos procesados que a menudo son responsables de la mayoría de los insectos. Estos regularmente se encuentran en la harina, por lo que no se abordará para el caso de la alfalfa y el frijol.

2.5.2.4 Características básicas de las estructuras de almacenamiento de las semillas

Las instalaciones de almacenamiento de semillas deben ser económicas y apropiadas para su conservación. Además, una estructura de almacenamiento de semillas deberá proporcionar protección contra humedad y plagas como las mencionadas en la Tabla 2.12.

Tabla 2.13 Características básicas de las estructura de almacenamiento de las semillas

Consideraciones	Acciones y recomendaciones
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Es fundamental evitar que las semillas en almacenamiento tengan contacto con cualquier fuente de agua, incluida la lluvia y la humedad del suelo. • Un elevado contenido de humedad de las semillas induce la respiración, que produce calentamiento, formación de moho y posible germinación, efectos que estropean la semilla y disminuyen su calidad. • Se debe mantener el techo, suelo y paredes laterales libres de agujeros y grietas que permitan la entrada de agua y animales. • El suelo debe ser impermeable, un piso elevado o un suelo de hormigón con una barrera por debajo es necesario para contrarrestar la posibilidad de contacto con la humedad del suelo.
Mezcla	<ul style="list-style-type: none"> • Una instalación de almacenamiento normalmente contiene más de un tipo de semilla y es importante que no se mezclen las semillas.
Insectos	<ul style="list-style-type: none"> • Las limpiezas deben ser eficientes para facilitar el control de los insectos, esto facilitaría una adecuada fumigación.
Roedores	<ul style="list-style-type: none"> • La protección contra los roedores es esencial para impedirles la entrada y el acceso a las semillas. Las medidas de control de roedores varían según el tipo de instalaciones de almacenamiento; es necesario utilizar recipientes metálicos con las tapas bien cerradas, y en caso de utilizar sacos estos deberán ser tratados.
Hongos	<ul style="list-style-type: none"> • Las diferencias de temperatura pueden hacer que el vapor de agua se desplace desde las zonas más cálidas hasta otras más frescas de un recipiente de almacenamiento. El desplazamiento de la humedad puede proporcionar condiciones favorables para la formación de hongos, debido a que estos prosperan en condiciones cálidas y humedad, por lo cual, es necesario construir estructuras de almacenamiento que proporcionen un ambiente fresco y seco, así como adoptar una ventilación efectiva para prevenir la acumulación de vapor de agua.
Fuego	<ul style="list-style-type: none"> • También es importante reducir al mínimo los riesgos de incendio, especialmente en los edificios de madera, es necesario mantener limpio dentro y alrededor del edificio, también hay que aplicar a la madera un tratamiento químico ignífugo, así como también utilizar interruptores para reducir las probabilidades de que las chispas e incendios eléctricos, así como explosiones de polvo.

2.6 Preacondicionamiento de semillas para su siembra

Los tratamientos pre-germinativos sirven para preparar las semillas, estos procedimientos son necesarios para romper la latencia de las semillas, es decir, el estado en el que estando vivas no son capaces de

germinar hasta que las condiciones del medio sean las adecuadas para ello (Donoso 1993, Arnold 1996), los métodos más comunes para la pre-germinación se observan en la Tabla 2.13.

Tabla 2.14 Preacondicionamiento de las semillas antes de su siembra, tratamiento pre germinativos para la preparación de semillas.

Tratamientos pre-germinativos	Detalle de la preparación de las semillas								
Estratificación	Se utiliza para romper la latencia fisiológica, consiste en colocar las semillas entre estratos que conservan la humedad, comúnmente arena, en frío o calor (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1977; Hartmann y Kester, 1988, Donoso, 1993). La estratificación fría es aquella donde se mantienen las semillas a temperaturas bajas (entre 4 y 10°C) asemejando las condiciones de invierno, por un periodo que oscila entre 20 y 60 días, llegando inclusive hasta 120 días (Ordoñez 1987; FAO, 1991, García, 1991). Para el caso de la estratificación cálida, esa se basa en la necesidad de las semillas a estar sometidas a altas temperaturas para poder germinar, la temperatura empleada oscila entre 22 y 30°C con un periodo de estratificación entre los 30 y 60 días (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; Figueroa y Jaksic, 2004).								
Escarificación	<p>Un gran número de especies forestales no germinan debido a que la testa o cubierta seminal es dura e impide la entrada de agua (latencia física) y la semilla no germina al menos que esta sea escarificada. La escarificación es cualquier proceso que rompa, raye, altere mecánicamente o ablando las cubiertas de las semillas para hacerlas permeables al agua y a los gases.</p> <p>Mecánica: consiste en raspar la cubierta de las semillas con lijas, limas o quebrarlas con un martillo o pinzas, tal cual como se muestra en la Figura 2.11. Si es a gran escala se utilizan máquinas a gran escala especiales recubiertas en su interior con papel lija o combinados con arena gruesa o grava. En caso de tratar grandes cantidades de semillas, se utiliza una hormigonera con grava o arena en su interior, o bien un tambor forrado en su interior con material abrasivo (por ejemplo, cemento) (Kemp, 1975, y Goor y Barney, 1976, FAO 1991; García, 1991).</p> <table border="1" data-bbox="427 1087 1391 1896"> <tr> <td data-bbox="427 1087 803 1486"> <p>Química: la escarificación química consiste en remojar las semillas por períodos breves (15 minutos o 2 horas) en compuestos químicos. Las semillas secas se colocan en recipientes no metálicos y se cubren con ácido sulfúrico concentrado en proporción de una parte de semilla por dos de ácido. Durante el período de tratamiento las semillas deben agitarse regularmente con el fin de obtener resultados uniformes. El tiempo de tratamiento varía según la especie. Al final del periodo de tratamiento se escurre el ácido y las semillas se lavan con abundante agua para quitarles el restante.</p> </td> <td data-bbox="803 1087 1391 1423"> <p>Lixiviación: las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta, esto con el objetivo de ablandar la testa. El tiempo de remojo puede ser entre 12, 24, 48 y hasta 72 horas (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; FAO, 1991). Habitualmente el remojo se efectúa en agua a temperatura ambiente, pero también se han tenido buenos resultados con agua caliente. Cuando es con agua caliente, las semillas se colocan en agua hirviendo, retirando inmediatamente el recipiente de la fuente de calor y deja de enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="427 1423 1391 1486">Combinación de tratamientos: se utiliza en semillas de especies que tienen más de un tipo de letargo.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="427 1486 1391 1686">Hormonas y otros estimulantes químicos, existen compuestos que estimular la germinación, entre los más usados son el nitrato de potasio, tiourea, etilino, ácido giberélico (GA3), citoquininas, entre otros. Este tipo de sustancias emplean a diferentes concentraciones y tiempos de exposición, dependiendo de la especie que se trate.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="427 1686 1391 1896">Flotación: se recomienda para separar las semillas vanas de las semillas llenas como un primer paso. La separación resulta importante, ya que las poblaciones de semillas vanas pueden ser alta. Estas son expuestas durante 24 horas procurando no excederse en el número de semillas a colocar, ya de que de lo contrario las que flotan podrían impedir que caigan las que deberían hundirse. La semilla vana o vacía corresponde</td> </tr> </table>	<p>Química: la escarificación química consiste en remojar las semillas por períodos breves (15 minutos o 2 horas) en compuestos químicos. Las semillas secas se colocan en recipientes no metálicos y se cubren con ácido sulfúrico concentrado en proporción de una parte de semilla por dos de ácido. Durante el período de tratamiento las semillas deben agitarse regularmente con el fin de obtener resultados uniformes. El tiempo de tratamiento varía según la especie. Al final del periodo de tratamiento se escurre el ácido y las semillas se lavan con abundante agua para quitarles el restante.</p>	<p>Lixiviación: las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta, esto con el objetivo de ablandar la testa. El tiempo de remojo puede ser entre 12, 24, 48 y hasta 72 horas (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; FAO, 1991). Habitualmente el remojo se efectúa en agua a temperatura ambiente, pero también se han tenido buenos resultados con agua caliente. Cuando es con agua caliente, las semillas se colocan en agua hirviendo, retirando inmediatamente el recipiente de la fuente de calor y deja de enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.</p>	Combinación de tratamientos: se utiliza en semillas de especies que tienen más de un tipo de letargo.		Hormonas y otros estimulantes químicos, existen compuestos que estimular la germinación, entre los más usados son el nitrato de potasio, tiourea, etilino, ácido giberélico (GA3), citoquininas, entre otros. Este tipo de sustancias emplean a diferentes concentraciones y tiempos de exposición, dependiendo de la especie que se trate.		Flotación: se recomienda para separar las semillas vanas de las semillas llenas como un primer paso. La separación resulta importante, ya que las poblaciones de semillas vanas pueden ser alta. Estas son expuestas durante 24 horas procurando no excederse en el número de semillas a colocar, ya de que de lo contrario las que flotan podrían impedir que caigan las que deberían hundirse. La semilla vana o vacía corresponde	
<p>Química: la escarificación química consiste en remojar las semillas por períodos breves (15 minutos o 2 horas) en compuestos químicos. Las semillas secas se colocan en recipientes no metálicos y se cubren con ácido sulfúrico concentrado en proporción de una parte de semilla por dos de ácido. Durante el período de tratamiento las semillas deben agitarse regularmente con el fin de obtener resultados uniformes. El tiempo de tratamiento varía según la especie. Al final del periodo de tratamiento se escurre el ácido y las semillas se lavan con abundante agua para quitarles el restante.</p>	<p>Lixiviación: las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta, esto con el objetivo de ablandar la testa. El tiempo de remojo puede ser entre 12, 24, 48 y hasta 72 horas (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; FAO, 1991). Habitualmente el remojo se efectúa en agua a temperatura ambiente, pero también se han tenido buenos resultados con agua caliente. Cuando es con agua caliente, las semillas se colocan en agua hirviendo, retirando inmediatamente el recipiente de la fuente de calor y deja de enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.</p>								
Combinación de tratamientos: se utiliza en semillas de especies que tienen más de un tipo de letargo.									
Hormonas y otros estimulantes químicos, existen compuestos que estimular la germinación, entre los más usados son el nitrato de potasio, tiourea, etilino, ácido giberélico (GA3), citoquininas, entre otros. Este tipo de sustancias emplean a diferentes concentraciones y tiempos de exposición, dependiendo de la especie que se trate.									
Flotación: se recomienda para separar las semillas vanas de las semillas llenas como un primer paso. La separación resulta importante, ya que las poblaciones de semillas vanas pueden ser alta. Estas son expuestas durante 24 horas procurando no excederse en el número de semillas a colocar, ya de que de lo contrario las que flotan podrían impedir que caigan las que deberían hundirse. La semilla vana o vacía corresponde									

	<p>a la porción que queda flotando en superficie. De esta manera, sólo se someten a tratamiento germinativo aquellas que hundieron, las cuales corresponden a semillas llenas y, por tanto, potencialmente viables, reduciéndose así los volúmenes a tratar.</p>
--	--

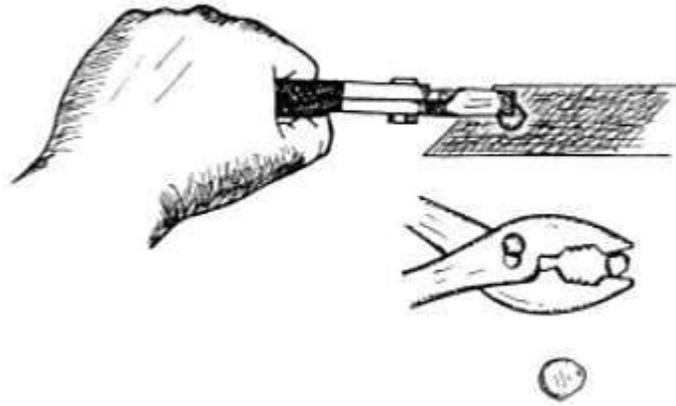


Figura 2.12 Esquema mostrando el proceso de escarificación mecánica mediante el uso de pinza (Arriaga et al., 1994).

2.7 Tipos de germinadores

Los germinadores se encargan de controlar y generar las condiciones adecuadas para la germinación de las semillas. Una técnica consiste en remojar las semillas para tener una mejor hidratación de esta, al tener una mayor humedad se ablanda la capa externa de la semilla, así como también se desechan las sustancias que pudieran inhibir el proceso de germinación. El ciclo normal de una semilla en la naturaleza, germinan de manera espontánea cuando se hidratan con la humedad del suelo y las condiciones de calor y luz son las adecuadas. Se considera la existencia de dos tipos de germinadores; los caseros que regularmente son sencillos y fabricados en casa, así como los industriales para producir germinados a gran escala, su objetivo es mejorar las condiciones de germinación.

2.8 Condiciones de la germinación

En la Figura 2.13 se muestran las partes de la semilla, las estructuras básicas que la constituyen son la capa protectora, el tejido de reserva y el embrión.

- La capa protectora está formada de la testa, tegumento, cubierta seminal o episperma, su función es proteger y las diferentes capas favorecen la dispersión.
- El tejido de reserva contiene las sustancias de reserva. Su función es alimentar al embrión durante la germinación; los tipos de semillas se clasifican de acuerdo con el lugar de acumulación de las reservas.
- El embrión. Su función es formar una nueva planta.

Las condiciones que producen la germinación de una semilla se muestran en la Tabla 2.13 (Sotomayor, 1979).

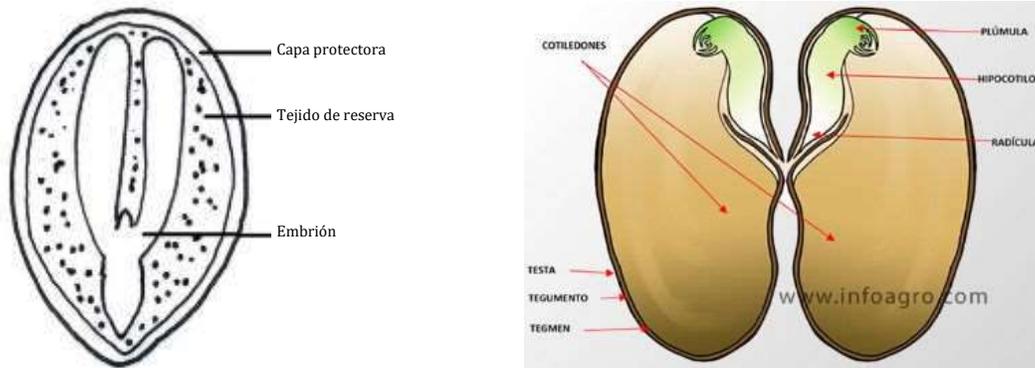


Figura 2.13 Partes de la semilla.

Tabla 2.15 Condiciones para la germinación de una semilla (Sotomayor 1979).

Condiciones	Descripción
Agua	Es la responsable de ablandar las envolturas de la semilla permitiendo que el embrión las rompa más fácilmente. El agua absorbida por el embrión y el endospermo hacen que la semilla se hiche rompiéndose las envolturas. El agua facilita la entrada de oxígeno a la semilla, las paredes celulares secas con casi impermeables a los gases, pero si han embebido suficiente agua los gases pueden ser difundidos fácilmente a través de ellas. Según absorben agua las paredes de las células de la envoltura del embrión y la semilla, la provisión de oxígeno para las células vivientes aumenta, lo que hace posible una respiración más activa. El agua diluye el protoplasma y permite que sus diversas funciones se realicen activamente. Como el protoplasma de las células del embrión y otras paredes pierden la mayor parte de su agua antes de que estas se desprendan, sus actividades quedan casi completamente suspendidas hasta la germinación. Las células no pueden llevar a cabo activamente ninguno de sus procesos normales (digestión, respiración, asimilación o crecimiento) a menos que su protoplasma contenga mucha agua.
Temperatura favorable	Para cada clase de semilla hay una temperatura mínima más debajo de la cual no se realiza la germinación. También hay una máxima arriba de la cual tampoco se lleva la germinación, y la óptima donde la germinación actúa más rápidamente.
Oxígeno	La influencia de la concentración de oxígeno en la respiración de los tejidos. Los requerimientos de oxígeno en la semilla, antes de la germinación, son muy distintos una vez que ha comenzado la germinación. Al mismo tiempo la iniciación de la germinación depende de las condiciones fisiológicas del embrión e indirectamente del intercambio gaseoso.
Luz	En la oscuridad la respiración aumenta con una turgencia al máximo, cae en el punto final de la turgencia y luego decrece poco a poco. Con la luz este decremento no ocurre. La respiración aumenta poco a poco en un principio, y después rápidamente con la iniciación de la germinación. El efecto de la luz, en la preparación de la germinación involucra los procesos de respiración.
Edad de la semilla	Las semillas jóvenes germinan más rápidamente que las semillas viejas.

2.8.1 Fases de la germinación

De acuerdo con Sotomayor (1979), la semilla presenta dos fases para su germinación, las cuales se observan en la Tabla 2.16. En el desarrollo de una planta, la semilla puede resistir frío, calor y corrientes de aire, su función principal es contribuir a la continuidad de la especie, permitiendo la supervivencia de la planta en condiciones desfavorables y facilitando la distribución de las especies.

Tabla 2.16 Fases de la germinación de una semilla (Sotomayor, 1979).

Fases	Descripción
Fase 1	Admisión de agua, fase que se completa cuando todas las paredes celulares y protoplastos tienen suficiente contenido de agua. Relacionado con la absorción de agua existe un aumento en la respiración.
Fase 2	Excepto en la respiración, no se produce cambio apreciable, el embrión no se agranda y la semilla parece estar en una situación de vida latente.
Fase 3	Agrandamiento del embrión.

Durante estas fases, la germinación es un proceso reversible, ya que las semillas se pueden secar y volver a humedecer, incluso cientos de veces, sin que se produzca ningún trastorno en su capacidad germinativa. Un gran número de semillas persisten durante años, incluso décadas en la tierra, sin alcanzar la tercera fase, en la cual se lleva a cabo el agrandamiento real del embrión. Sin embargo, una vez que ha empezado la tercera fase continuará ininterrumpidamente hasta formar a la planta o morir, esta fase es la más crítica porque es el periodo en el cual se decide si la semilla germinará o no, es un proceso totalmente positivo o negativo.

2.8.2 Proceso de germinación

El proceso de germinación se lleva a cabo en diferentes etapas, estas se observan en la Figura 2.1 (Sotomayor, 1979).

Tabla 2.17 Etapas del proceso de germinación (Sotomayor, 1979).

Etapas de la germinación	Descripción
Absorción de agua	El proceso inicial para la germinación de las semillas es la absorción de agua, fenómeno que permite el ablandamiento de las envolturas (capas) e hinchamiento de la semilla. Las capas de las semillas están compuestas en su mayoría de material que toma el agua por imbibición, lo que causa una disminución en la resistencia mecánica del material embebido. La imbibición del agua por el embrión y el endospermo origina hinchazón y, por tanto, la ruptura de las envolturas ablandadas de la semilla.
Digestión	Los alimentos almacenados en la semilla son insolubles o coloidales. Por lo que estos nutrientes no pueden ser transportados de célula a célula y usados en construir protoplasma y paredes celulares hasta que haya cambiado una forma soluble y difusible. Al proceso de solubilización de nutrientes y su difusión se le llama digestión, por lo que es necesaria la presencia de distintas enzimas.
Transporte de los nutrientes	El tejido conjuntivo está poco desarrollado en la planta o embrión de la semilla, por lo tanto, el transporte del material debe hacerse casi enteramente por difusión de una célula a otra. En la semilla en germinación, se establece un gradiente de concentración entre la parte de la semilla y donde se está produciendo alimento soluble por digestión del alimento almacenado y las paredes donde el alimento es usado. En los puntos de crecimiento del embrión los nutrientes solubles se transforman en paredes de celulosa y en protoplasma, removiéndose así de la solución. De tal modo se realiza constantemente una reducción en la concentración de los nutrientes solubles en los puntos de crecimiento. La dirección de los nutrientes solubles es hacia esos puntos de concentración relativamente baja en tales sustancias, alejándose de las paredes de la semilla donde se están produciendo alimentos solubles por la acción enzimática sobre el alimento soluble almacenado.
Asimilación	Es la transformación de los nutrientes digeridos en protoplasma y la pared celular.
Respiración	Esta se lleva a cabo mucho más activamente en las semillas en germinación que en cualquier otro órgano o tejido de las plantas. Existe una relación estrecha entre la respiración y el crecimiento, así cuanto mayor es la energía de crecimiento, es más elevada la capacidad respiratoria.
Crecimiento	Una de las manifestaciones fundamentales de la actividad de las plantas es su crecimiento es decir el aumento continuo de tamaño. Este fenómeno está relacionado con la formación de nuevas células. Los aumentos reversibles, ocasionado por la hinchazón de las semillas en el agua, no se consideran crecimiento. En el transcurso de las primeras etapas de la germinación, mientras no se han desarrollado aún las primeras hojas, pueden observarse considerables pérdidas de material orgánica debido al proceso respiratorio, se verifica la formación de nuevas celular. El aumento total del tamaño de las plántulas ocurre a expensas del agua absorbida durante la formación de las nuevas células, junto con el acarreo y empleo de las sustancias para las nuevas estructuras celulares.

La hinchazón que predomina durante las primeras fases de la germinación es reemplazada más tarde por la mayor capacidad de retención de agua de las estructuras formadas durante el crecimiento de células nuevas. La germinación de las semillas comienza con la hinchazón y el desarrollo del embrión, la episperma revienta y deja de oponerse al crecimiento interior. Las zonas embrionales de las semillas crecen a expensas de las materias de reservas hidrolizadas por las enzimas. A medida que se vacían los órganos de reserva se arrugan y desecan terminando por separarse de la plántula una vez que esta ha adquirido independencia completa. Lo mismo ocurre con el endospermo, que se disuelve y absorbe completamente, de modo que solo queda el tegumento vacío.

El crecimiento interior del embrión consiste en un aumento de tamaño de todos los órganos iniciales, en primer término, la radícula y luego la yémula y el talluelo. A medida que la plántula aumenta gradualmente de tamaño se van formando órganos nuevos que no existían antes en la semilla, tales como hojas raíces, ramas, etc. Al mismo tiempo los órganos preexistentes completan su desarrollo. Por fin cesa el aumento de tamaño y en las últimas etapas de desarrollo vegetal se distinguen órganos y tejidos bien maduros de los tejidos embrionales que aparecen en los ápices de raíces y tallos, y que constan de células de estado división y crecimiento continuos.

2.8.3 Fases del crecimiento

Según Sotomayor (1979), el crecimiento de los distintos órganos, así como el de la planta entera, es el resultado de los distintos crecimientos de cada una de las células que lo componen. Las células meristemáticas son comparativamente pequeñas y tienen membranas delgadas y núcleos grandes. La cantidad de protoplasma de las células meristemáticas comienza a aumentar gradualmente, lo que se refleja en un acrecentamiento del tamaño de las células; luego se verifica la división del núcleo y del citoplasma y las células originadas se separan unas de otras mediante membranas nuevas. Esto es la acumulación de materia viva, a la que sigue de inmediato una nueva división celular. Por lo tanto, el proceso fundamental en las regiones meristemáticas consiste en un aumento del número de células y de masa total de materia viva. Durante la segunda fase del desarrollo embrionario se lleva a cabo el alargamiento, el cual se caracteriza por la aparición de vacuolas en el protoplasma que se llenan con jugo celular. Las vacuolas se agrandan rápidamente y por fin el protoplasma queda reducido a una capa sutil que reviste el interior de la membrana. La expansión celular, en la fase de alargamiento, se deba a causas diferentes de las que actúan durante el crecimiento meristemáticos. En las células meristemáticas la síntesis aumenta la cantidad de protoplasma, mientras que en las células en el alargamiento aumenta el jugo celular.

El aumento de la masa protoplasmática, característico de la fase embrional es reemplazado por una mayor producción de celulosa, así, disminuye la presión de la membrana sobre los contenidos celulares y en consecuencia aparece una tensión de la succión considerable que determina la entrada de agua a la célula. Esta succión es tan intensa, en el caso de déficit de agua, que las células jóvenes en crecimiento pueden sustraerla de las células más viejas o ya maduras. Al alargamiento sucede el tercero y último periodo del proceso llamado "fase de diferenciación interna". La membrana, tenue y dilatada comienza ahora a engrosar, la célula deja de aumentar de volumen y adquiere forma y tamaño definitivos. Los tejidos meristemáticos, que constituyen un área homogénea, originan los diversos tejidos del órgano maduro, tales como los elementos mecánicos y de conducción.

2.9 Origen de semillas

2.9.1 Alfalfa

La alfalfa es la planta forrajera más antigua extendida por todo el mundo. Esta es nativa del sureste de Asia, de una región comprendida entre mesopotámica, Persia, Turkestan y Siberia. Es probable que haya sido llevada a Grecia por los persas en el año 490 a.c., y fue usada por los romanos en su conquista a Grecia como alimentos para sus caballos, y llevada a Italia en el año 146 a.c. (Hill, 1937). En la figura 2.14 se observa un esquema sobre la expansión en el mundo.



Figura 2.14 Esquema de expansión del cultivo de alfalfa en el mundo. Fuente: Hill (1937).

2.9.2 Frijol

Entre los años 9000 y 5000 a. c. en diferentes partes del mundo se domesticaron diversas especies vegetales entre ellas el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). El conjunto de conocimientos actuales; edad de los restos de fósiles y características morfológicas, estiman que el frijol se originó en Mesoamérica y se comenzó con la domesticación entre los años 5000 y 2000 a.c. en dos sitios del continente americano: Mesoamérica (México y Centroamérica) y los Andes (Sudamérica). A partir del frijol silvestre se formaron dos acervos genéticos domesticados distintos, Mesoamericano y Andino. El uso de nuevas herramientas biotecnológicas y genómicas han ofrecido definitivas sobre el origen, domesticación y diversidad de *P. Vulgaris*. (Hernández, Victor et al., 2013).

2.10 Sistemas agrícolas aeropónicos

Según Sanchez, M.E., (2015) en Agriculturers, Red de Especialistas en agricultura, la aeroponía es el proceso de cultivar plantas sin hacer uso de suelo sea en un entorno de niebla o sumergiendo la raíz total o parcialmente en una solución nutritiva; es una técnica avanzada que requiere tecnología más compleja que el sistema hidropónico tradicional. De acuerdo con esta Red de Especialistas, el principio básico es hacer crecer las plantas en un entorno cerrado o semicerrado, pulverizando con nebulizadores o aspersores y una solución rica en nutrientes. de esta forma, se genera un microambiente con alta humedad relativa, lo que ocasiona que las raíces crezcan suspendidas en el aire (raíces colgantes) con bajo tallo y sean hortalizas de calidad. En la Tabla 2.11 se presentan las ventajas y desventajas de un sistema aeropónico.

Tabla 2.18 Ventajas y desventajas de un sistema aeropónico, Agriculturers, Red de Especialistas en agricultura (2015).

Ventajas de un sistema aeropónico	Desventajas de un sistema aeropónico
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fácil de manejar. ➤ No desarrollan algas si el sistema es cerrado. ➤ Acelera el crecimiento de las raíces. ➤ El gasto de agua y nutrientes es sumamente bajo respecto a los sistemas hidropónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altos costos de instalación. ➤ Se afecta la producción por mal manejo de la solución nutritiva. ➤ Un descuido en la higiene puede infectar las raíces de todas las plantas con bacterias y hongos, por lo que se requiere ser muy minucioso en la limpieza del sistema.

➤ Da un mayor rendimiento por área y por planta.	
--	--

Las plantas son un aparato aeropónico, puesto que tienen acceso al 100 % de las concentraciones de dióxido de carbono, las cuales van de 450 ppm hasta 780 ppm por fotosíntesis. La forma aérea ofrece a las plantas la capacidad de tener acceso a todo el CO₂ del aire. Sin embargo, debe haber mucha ventilación, ya que en sistemas confinados existe una probabilidad de que la presión enferme a la planta y posiblemente a todo el sistema aeropónico.

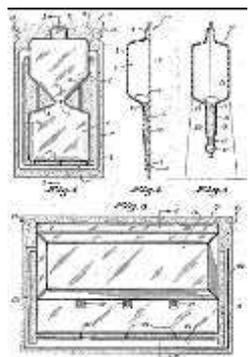
Tabla 2.19 Componentes de un sistema aeropónico

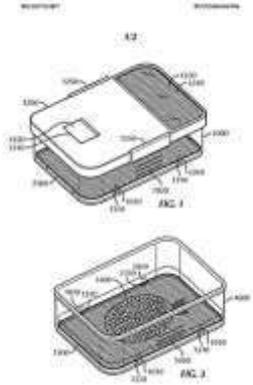
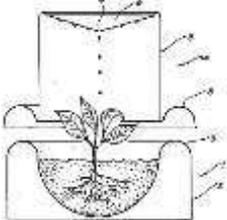
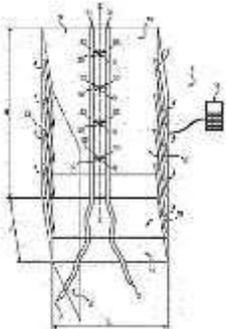
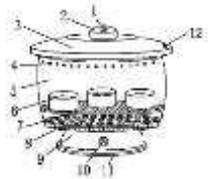
Componente	Descripción
Contenedor	recipiente que puede servir para cultivar plantas en un sistema hidropónico, el cual debe favorecer el acceso fácil de aire para tener un crecimiento exitoso.
Sistema de aspersión	Se caracteriza por utilizar rociadores, pulverizadores, nebulizador u otro dispositivo que cree una niebla solución.
Solución nutritiva	La solución se caracteriza por ser altamente soluble, esto para ayudar a que se absorba por la planta, esto para que no exista una competencia por nutrientes.
Germinación y desarrollo de la plántula	Para lograr un crecimiento adecuado de las raíces se deben adecuar las condiciones adecuadas de temperatura y humedad.
Ambiente radicular	La presencia de oxígeno en las raíces es necesaria para que exista un crecimiento saludable en la planta. Algo característico de los sistemas aeropónicos es combinar microgotas de agua con nutrientes, que combinado con oxígeno aumenta la posibilidad de que los nutrientes lleguen a las raíces estimulando su crecimiento y evitando que se puedan generar patógenos.

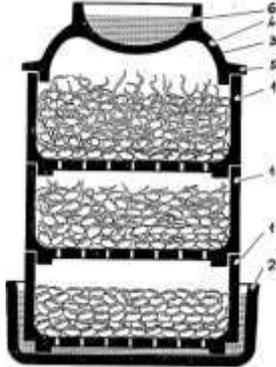
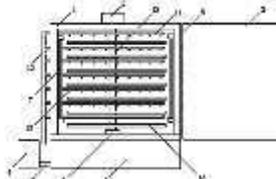
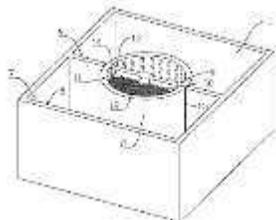
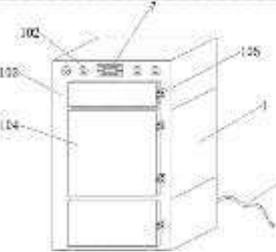
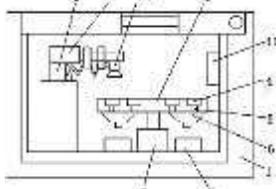
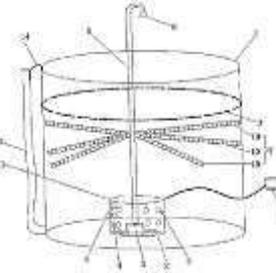
2.11 Estado del arte

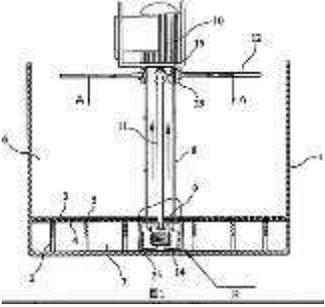
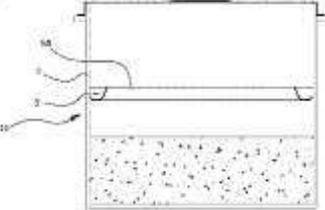
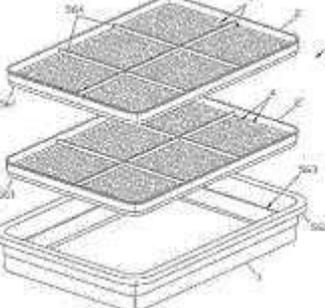
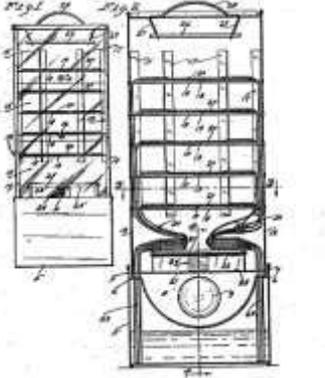
En la Tabla 2.9 se muestran las patentes encontradas en la página de la World Intellectual Property Organization (WIPO) relacionadas con la palabra “germinador de semillas”. Resalta la invención de la patente FR2621211, en la que hay mejoras en el germinador, humidificando la semilla mediante el remojo antes de iniciar la germinación, así como tres niveles en el germinador, en este la parte superior las semillas son las que menor cantidad de humedad presentan, ante esta situación se colocó una reserva de agua en la parte superior la cual se desliza con gravedad.

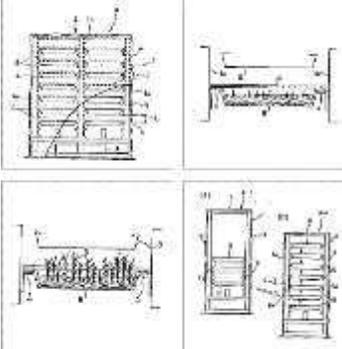
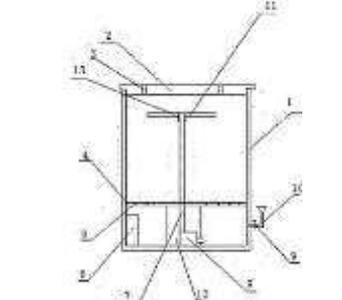
Tabla 2.20 Tabla de trabajos relacionados con patentes de germinadores de semillas.

Número de patente	Nombre	Inventor	Fecha de Publicación	Contribución
US4000580	Germinador de semillas	Biehl Roy A. Estados Unidos De América	04ene1977	

<p>WO2017111897</p>	<p>Germinador de grano estandarizado compacto</p>	<p>Volgin, Andrei Yurievitch Prokhorov, Alexander Valdimir Volguina, Alexandra Andrejevna Volguina, Irina Vasilievna Volguin, Kirill Andrejevitch</p>	<p>29jun17</p>	
<p>US5094033</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Drew Richard G.</p>	<p>10mar1992</p>	
<p>US20200120855</p>	<p>Método para controlar la germinación de semillas y dispositivo germinador.</p>	<p>Cintia Anaís Peyrard Estados Unidos De América</p>	<p>23abr2020</p>	
<p>CN107124935</p>	<p>Germinador simple de semillas</p>	<p>The Inventor Has Waived The Right To Be Mentioned China</p>		
<p>CN112005659</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Zhuo Benyu 卓本育 China</p>	<p>01dic2020</p>	

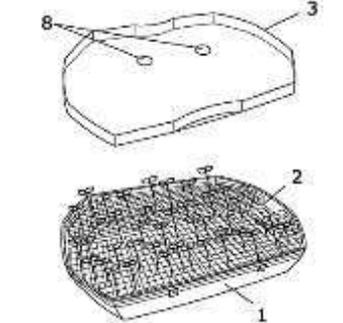
<p>FR2621211</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Labbe Max</p>	<p>07abr1989</p>	
<p>CN204316978</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Zhang Gui China</p>	<p>13may15</p>	
<p>CN108886916</p>	<p>Germinador de desinfección de semillas</p>	<p>Guan Dapeng 管大鹏 Zhang Jinlong 张金龙 Zhang Taibao 张太保 China</p>	<p>27nov18</p>	
<p>CN207802713</p>	<p>Germinador de semillas de cultivo agrícola de alta eficiencia</p>	<p>Zhang Qianglin 张强林 China</p>	<p>04sep18</p>	
<p>CN206452708</p>	<p>Germinador de semillas a temperatura constante</p>	<p>Zhao Qiancheng Tong Zhiqiang China</p>	<p>01sep17</p>	
<p>CN205491701</p>	<p>Germinador inteligente de semillas de arroz</p>	<p>Wu Lihong China</p>	<p>24ago16</p>	

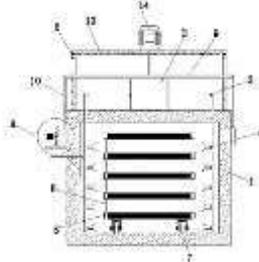
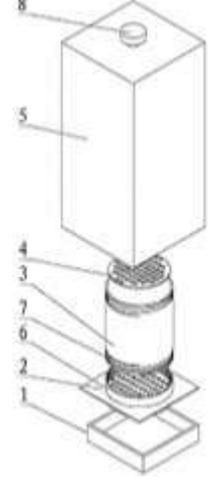
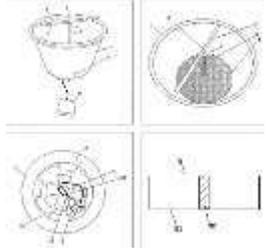
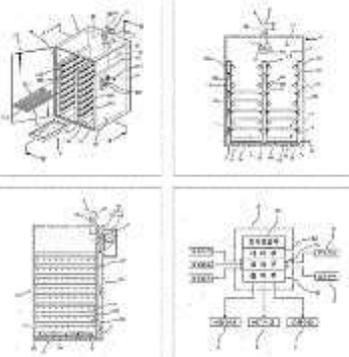
<p>CN1530001</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Lou Xinyong 楼信用 China</p>	<p>01feb06</p>	
<p>CN212013525</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Zhao Yunming 赵运明 Liu Guishan 刘桂山 China</p>	<p>27nov2020</p>	
<p>CN113016268</p>	<p>Germinador de semilla apilada</p>	<p>Hu Yubing 胡玉兵 China</p>	<p>25jun21</p>	
<p>CA270074</p>	<p>Germinador de semillas</p>	<p>Mark Isaacs Canadá</p>	<p>26abr1927</p>	

JP1994197644	Método para germinar semillas y plantar plantas	Yaguchi Yoshimasa 矢口 芳正 Japón	19jul1994	
CN104641763	Dispositivo de pregerminación de semillas con varillas rotativas de pulverización de agua.	Jiang Hongjie Cheng Taomu China	27may15	

En la Tabla 2.10 se muestran las patentes relacionadas con la palabra “germinador” buscadas en la página de la World Intellectual Property Organization (WIPO). La patente CN207054351 es un germinador para la semilla de frijol, el cual está ideado para las necesidades diarias. Está compuesto de una carcasa, un contenedor de chasis, una bandeja y un contenedor de germinación, el cual se encuentra bien ventilado y drenado, tiene una alta tasa de germinación de acuerdo con las pruebas realizadas.

Tabla 2.21 Tabla de trabajos relacionados con patentes de germinadores.

Número de patente	Nombre	Inventor	Fecha de Publicación	Contribución
EP2210462	Germinador	Batlle Valdeperes Ramón	28jul10	

<p>CN211931262</p>	<p>Germinador de vapor de arroz</p>	<p>Yang Qun 杨群 China</p>	<p>17nov2020</p>	
<p>CN207054351</p>	<p>Germinador de coles de frijol</p>	<p>Yu-Yao Jia'nan Lin Zheng Lin Qingqiang Yu Peixiong China</p>	<p>02mar18</p>	
<p>CN207639119</p>	<p>Germinador inteligente</p>	<p>Wu Lihong 吴丽红 China</p>	<p>24jul18</p>	
<p>KR1020070035895</p>	<p>Combinación de germinador de semillas y secador de pimientos rojos para secar y germinar semillas controlando la temperatura y humedad mientras se detiene el funcionamiento fijando el tiempo de secado o germinado</p>	<p>Kwak, Hae Sik 곽해식 República De Corea</p>	<p>02abr17</p>	

III

Metodología

3 Capítulo 3: Metodología

3.1 Fases de la investigación

Para la ejecución de la investigación se siguió el procedimiento descrito en la Figura 3.1, en la cual se pueden ver las fases del trabajo que van desde la búsqueda bibliográfica, pasando por el diseño y construcción del prototipo y posteriormente su validación con el crecimiento de germinados de alfalfa y frijol y finalmente el análisis estadístico del crecimiento de los germinados.



Figura 3.1 Esquema de fases de la investigación.

3.2 Análisis cienciométrico

El análisis cienciométrico tiene como fin conocer las investigaciones y tendencias sobre germinadores de semillas, esta información se extrae de bases de datos de patentes nacionales e internacionales, artículos y páginas web. Durante el análisis se obtiene información cualitativa y cuantitativa tomando en cuenta la cantidad de patentes por país, año y autores. Este análisis es una revisión documental que consiste en los siguientes pasos:

1. Selección de fuentes de información y recursos.

2. Extracción carga y tratamiento de datos.
3. Procesamiento de la información
4. Visualización a través de figuras, gráficos o mapas.
5. Interpretación de los resultados.

El análisis cuantitativo se trata de una vigilancia tecnológica y las tendencias, la búsqueda de la información será a través de las siguientes bases de datos, las bases de datos que se utilizarán se describen en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Fuentes para investigación de patentes relacionadas

Nombre	Descripción	Página Web	Alcance
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial	http://www.gob.mx/impi	Nacional
USPTO	Base de datos de patentes en texto completo y con imágenes, Estados Unidos	https://www.uspto.gov/	Estados Unidos
ESP@CENET	Base de datos de la EPO (Oficina Europea de Patentes)	https://worldwide.espacenet.com/	Europa
LATIPAT - ESP@CENET	Base de datos de patentes publicadas de Latinoamérica	http://lp.espacenet.com/	Latinoamérica
PATENTSCOPE	Base de datos de aplicaciones de patentes internacionales de la OMPI (WIPO)	https://patentscope.wipo.int/search/es/advancedSearch.jsf	Mundial
WIPO (OMPI)	World Intellectual Property Organization (Organización Mundial de la Propiedad Industrial)	http://www.wipo.int/portal/en/	Mundial
WIPO (OMPI)	Base Mundial de Datos sobre Marcas	https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf	Mundial (Español)

3.2.1 Diseño del prototipo

Se diseñó el prototipo de germinador considerando las condiciones de operación de las patentes revisadas. El prototipo tiene forma de gabinete; se trata de una estructura en forma de prisma rectangular con dos niveles o pisos, uno inferior y otro superior, la parte de abajo funciona como un contenedor en el que se coloca el agua o nutrientes en solución.

Para la elaboración de los dibujos isométricos del prototipo de germinador, se utilizó el software Autocad 2D, que es un software de diseño asistido por computadora comercializado por la empresa Autodesk. Se realizaron diferentes vistas del prototipo, como se observa en la Figura 3.2: vista superior o planta, vista perfil izquierdo, vista perfil derecho, vista inferior y vista trasera o posterior.

Un dibujo isométrico es la representación en dos dimensiones de un objeto tridimensional mediante una proyección paralela basada en tres ejes, que son las tres direcciones del espacio (alto, largo y ancho), para que el objeto conserve sus proporciones.

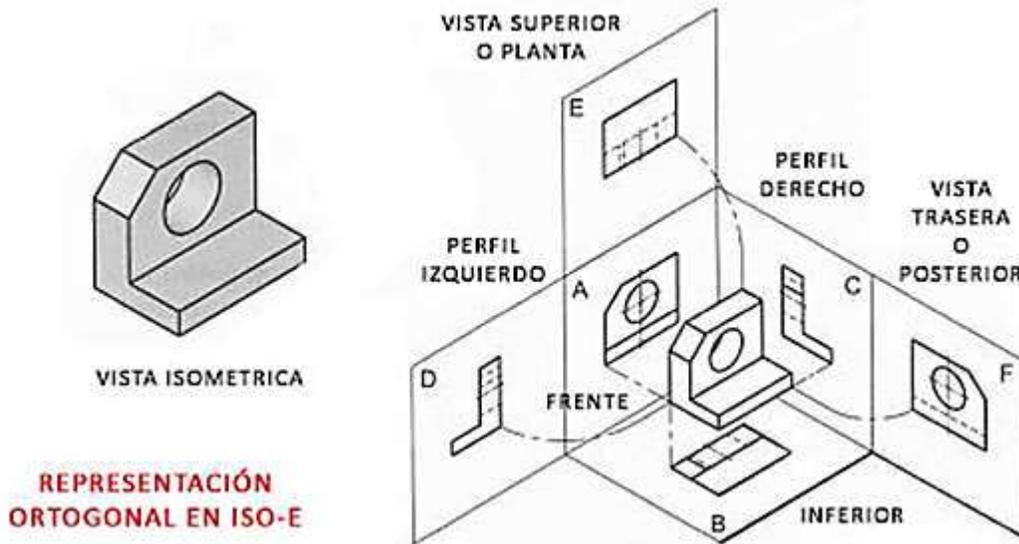


Figura 3.2 Vistas de un dibujo isométrico.

3.3 Metodología

3.3.1 Tipo o enfoque

Será del tipo cuantitativo, durante las pruebas operacionales del germinador se va a extraer información de las distintas variables a las que se someterá el germinado; como es la temperatura, humedad, iluminación, crecimiento del germinado y cantidad de agua suministrada.

3.3.2 Diseño

Se trata de tipo cuantitativo experimental, puesto que todas las variables mencionadas en la sección 3.3.1 podrán ser modificadas a lo largo de las pruebas operacionales y con el monitoreo del crecimiento del germinado.

3.3.3 Alcance

Se aplicará un modelo correlacional, puesto que las variables para lograr el crecimiento del germinado serán modificadas de manera experimental para realizar situaciones comparativas respecto a lo que se pretende acelerar, que en este caso es el germinado.

3.3.4 Población

Tomando en cuanto que el prototipo de germinador se validará solo con germinados de alfalfa y frijol, se limita únicamente al uso de estas semillas.

3.3.5 Muestra

Será de tipo probabilístico, se tomará una pequeña cantidad de semillas de cada tipo, aproximadamente 100 semillas para la germinación de estas.

3.3.6 Instrumento de recolección de información

Se abordará la recolección de información a través de un listado de chequeo y una observación sistematizada, a través de un formato estándar con registro de hora en la que se ejecuta la inspección se anotarán las variables que se quieren monitorear, como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propuesta de formato de recolección de información

Tipo de semilla: Frijol / Alfalfa

Semilla	Fecha y hora	Temperatura (°C)	Iluminación (Luxes)	Humedad (%)	Crecimiento (cm)	Cantidad de agua (ml)	Observador
1							
2							
3							
4							
5							
98							
99							
...							
100							

Frecuencia: cada 12 horas

3.3.7 Procedimiento o fases de la investigación

Para la ejecución de la investigación se seguirá el procedimiento descrito en el gráfico 3.3

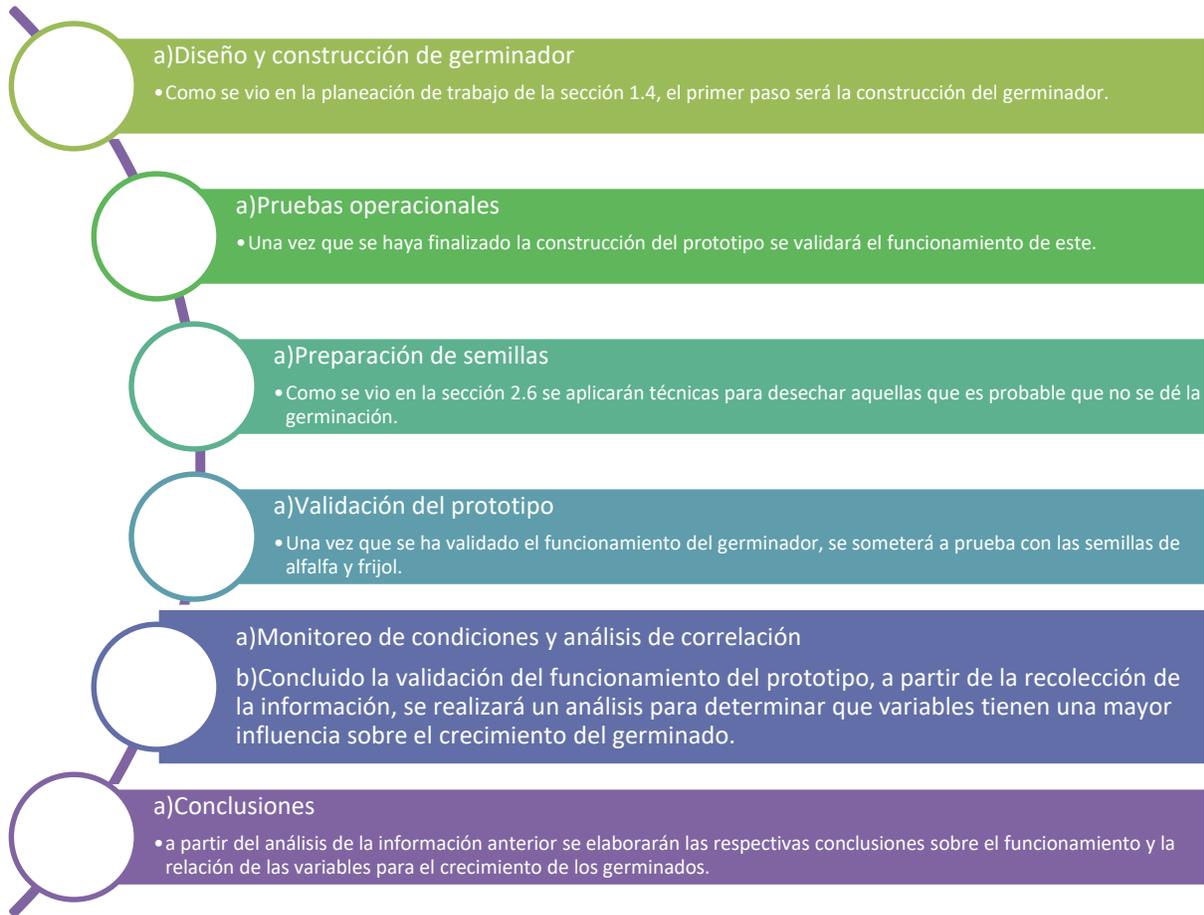


Figura 3.3 Esquema de fases de la investigación.

3.4 Diseño y construcción del germinador

3.4.1 Construcción del prototipo

Las partes principales del prototipo son el gabinete y el sistema electrónico que se describen enseguida.

3.4.1.1 Gabinete

El prototipo de germinador tiene forma de gabinete, es decir forma de prisma rectangular, con soportes al interior para colocar dos charolas, la superior y la inferior en la que se pondrán las semillas a germinar. En el fondo del germinador, la parte de abajo, se colocan el agua o los nutrientes en solución. El material que se utilizó para la construcción del gabinete fue acrílico transparente grado alimenticio de 6 mm de grosor, para evitar la contaminación del germinado. El volumen del prototipo fue de 0.20 m³, las medidas fueron 1209 cm alto, 414 largo y 414 cm de ancho.

Se seleccionó al acrílico por presentar mayores ventajas comparado con vidrio y policarbonato, a veces es comparado con estos materiales. El acrílico es una variante del plástico, al igual que el policarbonato es un polímero; ambos soportan cargas, pero el acrílico es más resistente a la intemperie, a la radiación ultravioleta (UV), siendo más seguro y duradero; si bien el policarbonato es más resistente que el acrílico, al romperse genera astillas otras de sus desventajas son ser más costoso, se raya más, es menos transparente y adquiere un tono amarillento por tener menos resistencia a los rayos ultravioleta.

El acrílico es un polímero que por sus propiedades suele ser usado para la construcción de estructuras, por ejemplo, estantes y anaqueles para mostradores de comercios. Entre estas propiedades destacan:

- **Transparencia.** Es similar a la del vidrio por lo que permite el paso de la luz, eso lo hace atractivo para uso en mostradores. El acrílico es más transparente que el policarbonato y se raya menos.
- **Resistencia.** Es resistente a la intemperie por largos periodos de tiempo, al impacto (10-20 veces más fuerte que el vidrio), a la radiación ultravioleta; también es resistente al agua y a algunas sustancias químicas como algunos ácidos. A diferencia del vidrio y el policarbonato es más seguro y duradero y al romperse no genera astillas. Mantiene su color y transparencia a menos que sea expuesto a altas temperaturas (por ejemplo, no es esterilizable/autoclavable) y solventes.
- **Flexibilidad.** Es un material más flexible que el plástico común y puede ser reciclado.
- **Dureza.** Es más duro que el vidrio y su dureza se compara a la de algunos metales.
- **Aislamiento eléctrico.** Es resistente al paso de la corriente eléctrica y puede usarse como aislante.
- **Ligereza.** Posee un peso específico más bajo que el vidrio por lo que es más ligero; los pesos específicos del acrílico y del vidrio son 1.19 y 2.5 g/cm³ respectivamente.

En la página ACRÍLICOS ONLINE (2022) se reporta la información técnica del acrílico, en la Tabla 3.3 se reportan las más significativas para este trabajo y en la Tabla 3.4 las propiedades que posee.

Tabla 3.3 Propiedades del acrílico de acuerdo a la información técnica de ACRÍLICOS ONLINE (2022).

Característica	Comparativo
Aislamiento eléctrico	Similar a la porcelana y al mármol.
Aislamiento térmico	20 % más que el vidrio.
Bloqueo de la radiación UV	Mayor que la del vidrio común.
Combustibilidad	Propaga la llama lentamente como las maderas duras.
Conductividad térmica	Cuatro veces menor que la del vidrio.
Expansión y contracción térmica	Algo mayor que la del vidrio, conviene calcular 6 mm por metro lineal.
Maquinado	Similar a la madera dura y metales blandos en equipos y métodos.
Peso	Es 50 % más liviano que el vidrio y 43 % más liviano que el aluminio.
Resistencia al impacto	Seis veces mayor que la del vidrio a igual espesor.
Resistencia al rayado (dureza)	Similar a los metales blandos como cobre, latón y aluminio.
Transparencia a la luz visible	Mayor que la del vidrio común y similar a la del cristal de roca.

Tabla 3.4 Propiedades del acrílico de acuerdo a la información técnica de ACRÍLICOS ONLINE (2022).

Propiedad	Nombre	Valor
Propiedades Físicas	Absorción de agua, 24 h de inmersión en 3.2 mm de espesor (Norma ASTM D-570)	0.6-0.8 %
	Materia soluble en agua luego de inmersión	0.0 %
	Olor	Inoloro
	Sabor	Insaboro
	Peso específico (Norma ASTM D-792)	1.19 g/cm ³
Propiedades Térmicas	Autoignición (Norma ASTM D-1929)	420 °C
	Calor específico	0.35 cal/g °C
	Coefficiente de dilatación lineal (Norma ASTM D-696)	7.10-5 cm/cm °C
	Conductividad térmica (Norma ASTM D-177)	5.10-4 cal cm/cm ² °C s
	Deformación interna máxima, encogimiento (Norma ASTM D-4802)	2.8 %
	Estabilidad térmica (Norma ASTM D-4802)	Sin defectos superficiales

	Punto de ablandamiento VICAT (Norma ASTM D-1525)	120-124 °C
	Punto de inflamación (Norma ASTM D-1929)	280 °C
	Temperatura continua máxima recomendada para hoja plana	80-85 °C
	Temperatura continua máxima recomendada para hoja termoformada	75-80 °C
	Temperatura de combustión	500 °C
	Temperatura de moldeo	150-170 °C <ul style="list-style-type: none"> • A temperaturas menores se producen esfuerzos internos con posterior cuarteo y fisura. • A temperaturas mayores se producen burbujas superficiales y marcas de molde.
Propiedades Mecánicas	Constante dieléctrica (Norma ASTM D-150)	4.0
	Factor de pérdida	0.24
	Factor de potencia (60 ciclos)	0-06
	Resistencia a la perforación (valor a 5 min, espesor 3 mm)	40 KV
	Resistividad dieléctrica (Norma ASTM D-149)	17-20 KV/mm
	Resistividad interna (Norma ASTM D-257)	10 ¹⁵ Ohm cm
Propiedades Ópticas	Resistividad superficial (28 °C, 75 % H.R.), mínimo (Norma ASTM D-257)	10 ¹⁶ Ohm
	Índice de refracción (Norma ASTM D-542)	1.48-1.50
	Opacidad máxima (Norma ASTM D-1003)	3 %
	Transmisión de la luz en el espectro ultravioleta, entre 290-330 nm, para 6.4 mm de espesor, valor máximo (Norma ASTM D-4802)	5 %
Propiedades Químicas	Transmisión de la luz en el espectro visible para espesores (Norma ASTM D-1003)	<ul style="list-style-type: none"> • Menores o iguales a 4.7 mm. Valor mínimo 91 % • Entre 4.7-31.8 mm. Valor mínimo 89 % • Entre 31.8-50.8 mm. Valor mínimo valor 87 %
	Resistente	Agua, Agua clorada de pileta, Agua de mar, Agua oxigenada, Aguarrás, Álcalis y ácidos diluidos, Soluciones diluidas de sales, Alcohol al 50% en agua, Detergentes diluidos, Aceites minerales, Aceites naturales, Amoníaco diluido, Glicerina
	No resistente	Ácidos concentrados, Alcohol concentrado, Cetonas, Esteres, Thinners, Benceno, Tolueno, Cloroformo, Tetracloruro de carbono, Solventes orgánicos en general

Dentro del gabinete se pueden colocar dos charolas de acero inoxidable que se sostienen con ayuda de los soportes colocados en el interior del gabinete. Las charolas tienen marcos y las mallas son de distintos calibres o aperturas (luz del tamiz), la inferior es de 2 mm y la superior de 3 mm, para la germinación de semillas de diferente tamaño.

3.4.1.2 Sistema electrónico

También se consideró la medición y el control de la temperatura y humedad, para esto se implementaron los sistemas de riego y temperatura conectados a sensores, todo el sistema electrónico es programable. El sistema de riego está compuesto de una bomba de pecera sumergida en el agua del contenedor de la parte inferior del gabinete, para que el agua pueda recircular continuamente por la tubería de riego. Las lámparas se encuentran situadas en cada nivel respecto a las mallas, son dos.

Para el sistema electrónico se adquirieron, instalaron y programaron los dispositivos electrónicos para medir y controlar las variables:

- Humedad: sensor electrónico que detecta humedad.
- Temperatura: sensor electrónico que detecta temperatura.

- Cantidad de agua suministrada: agua utilizada para el germinado.
- Iluminación: lámparas que aceleran el crecimiento de los germinados.

3.5 Validación del prototipo con el diseño experimental

Finalizada la construcción del prototipo de germinador se validó su funcionamiento sin germinados y con germinados; primero se realizaron pruebas operacionales sin germinados para probar el funcionamiento del sistema electrónico monitoreando diferentes condiciones. Posteriormente se validó el prototipo realizando un diseño experimental para la producción de los germinados de semillas de alfalfa y frijol.

3.5.1 Preparación de semillas de alfalfa y frijol

Las semillas de frijol negro y alfalfa fueron adquiridas de productores mexicanos que las distribuyen a través de las grandes franquicias de supermercado, las bolsas de semillas cuentan con datos de lote de producción y fechas de caducidad y de producción. Se adquirió un mismo lote de semillas para asegurar que durante las pruebas con el germinador no hubiera variabilidad que afectará el diseño del experimento y por ende la validación del prototipo.

En las Figura 3.3 y 3.4 se muestran las bolsas de semillas con las que se trabajó, fueron adquiridas en el supermercado. La de frijol negro, Figura 3.4, fue 1 kg de “Frijol Negro” marca SOS; por otro lado, en la Figura 3.5 se muestra la bolsa de 10 g de semillas de alfalfa para germinados marca “Hortaflor”, de acuerdo con los datos de la bolsa, rinde para aproximadamente 4000 plantas”.



Figura 3.4 Bolsa utilizada de frijol negro, Marca SOS.



Figura 3.5 Semilla de alfalfa

Para preparar las semillas se determinó su viabilidad realizando la prueba de flotación. Las semillas fueron sumergidas en agua durante 24 horas, Figura 3.6. Aquellas que flotaron (semillas vanas) se descartaron para su uso y solo las que se hundieron fueron usadas para germinación y que tienen más posibilidad de germinar.



Figura 3.6 Prueba de flotación para semillas de frijol negro, se sumergen en agua y se eliminan las semillas que flotan.

3.5.2 Diseño Experimental para la producción de germinados

Seleccionadas las semillas, se realizaron las pruebas de producción de germinados para validar al prototipo, se estableció un diseño experimental en el que se probaron además del tipo de semillas, las variables de operación: temperatura, humedad. Estas variables se mantuvieron constantes durante el tratamiento, monitoreándolas continuamente. Cabe señalar que además se estudió la posición de las charolas y el uso de papel filtro para sostener las semillas.

En la Tablas 3.4 se muestran las condiciones de los experimentos combinando las variables de temperatura y humedad y en la Tabla 3.5 se indica la descripción de la nomenclatura de acuerdo con la siguiente información:

- La primera letra corresponde al tipo de semilla: A para alfalfa y F para frijol.
- La segunda letra corresponde a la posición de la charola: S para la superior e I para la inferior.
- La tercera letra corresponde a la colocación de la semilla: sobre el papel filtro (F) o directamente sobre la malla es decir sin papel filtro (N).
- El número en la cuarta posición indica las condiciones de operación del experimento, combinando la temperatura y la humedad, según la Tabla 3.4.

La Tabla 3.5 muestra la planificación completa de los experimentos con la nomenclatura correspondiente para su identificación y para el análisis posterior de correlación de las variables. Los experimentos fueron realizados en el mes de mayo del 2022, se midió la longitud del crecimiento de los germinados con una regla a los 7, 11 y 14 días, midiendo se alrededor de 9 semillas de las que fueron colocadas. En cada experimento se realizó el cambio del agua y limpieza del gabinete.

Tabla 3.5 Combinación de variables para el diseño de los experimentos.

Experimento	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Experimento 1	10-15	50-55
Experimento 2	15-20	60- 65
Experimento 3	15- 20	80- 85
Experimento 4	20-25	65-70
Experimento 5	25-30	70- 75
Experimento 6	25-30	85-90

Tabla 3.6 Nomenclatura de los experimentos: Primera letra, A= alfalfa o F=frijol; Segunda letra, S=charola superior o I=charola inferior; tercera letra, F=usando papel filtro o N=directo sobre malla sin usar papel filtro.

Nomenclatura	Descripción
ASF	Semillas de alfalfa sobre papel filtro
ASN	Semillas de alfalfa sin papel filtro (directo sobre la malla)
FSF	Semillas de frijol sobre papel filtro
FSN	Semillas de frijol sin papel filtro (directo sobre la malla)
AIF	Semillas de alfalfa sobre papel filtro
AIN	Semillas de alfalfa sin papel filtro (directo sobre la malla)
FIF	Semillas de frijol sobre papel filtro
FIN	Semillas de frijol sin papel filtro (directo sobre la malla)

Tabla 3.7 Combinación de variables para experimentos con semillas de alfalfa y frijol.

Experimento	Germinado	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Papel filtro	Posición de las charolas	Tratamientos Nomenclatura
Experimento 1	Alfalfa	10-15	50-55	SI	Superior	ASF.1
					Inferior	AIF.1
				NO	Superior	ASN.1
					Inferior	AIN.1
	Frijol			SI	Superior	FSF.1
					Inferior	FIF.1

				NO	Superior	FSN.1
					Inferior	FIN.1
Experimento 2	Alfalfa	15-20	60- 65	SI	Superior	ASF.2
					Inferior	AIF.2
				NO	Superior	ASN.2
				Inferior	AIN.2	
	Frijol			SI	Superior	FSF.2
					Inferior	FIF.2
NO		Superior	FSN.2			
				Inferior	FIN.2	
Experimento 3	Alfalfa	15- 20	80- 85	SI	Superior	ASF.3
					Inferior	AIF.3
				NO	Superior	ASN.3
					Inferior	AIN.3
	Frijol			SI	Superior	FSF.3
					Inferior	FIF.3
				NO	Superior	FSN.3
					Inferior	FIN.3
Experimento 4	Alfalfa	20-25	65-70	SI	Superior	ASF.4
					Inferior	AIF.4
				NO	Superior	ASN.4
					Inferior	AIN.4
	Frijol			SI	Superior	FSF.4
					Inferior	FIF.4
				NO	Superior	FSN.4
					Inferior	FIN.4
Experimento 5	Alfalfa	25-30	70- 75	SI	Superior	ASF.5
					Inferior	AIF.5
				NO	Superior	ASN.5
					Inferior	AIN.5
	Frijol			SI	Superior	FSF.5
					Inferior	FIF.5
				NO	Superior	FSN.5
					Inferior	FIN.5
Experimento 6	Alfalfa	25-30	85-90	SI	Superior	ASF.6
					Inferior	AIF.6
				NO	Superior	ASN.6
					Inferior	AIN.6
	Frijol			SI	Superior	FSF.6
					Inferior	FIF.6
				NO	Superior	FSN.6
					Inferior	FIN.6

3.5.3 Instrumento de recolección de datos

Se recolectaron los datos del crecimiento de los germinados realizando un listado de chequeo y una observación sistematizada; se utilizó el formato de la Tabla 3.8 para el registro de la fecha y hora en la que se ejecuta la medición de la longitud de crecimiento (en mm), la temperatura (°C), la humedad (% HR), la iluminación (luxes) y la cantidad de agua (ml). A partir del análisis de la información generada se correlacionaron las variables con el crecimiento de los germinados.

Tabla 3.8 Formato de recolección de información del crecimiento de los germinados.

Tipo de semilla: Frijol / Alfalfa

Semilla	Fecha y hora	Temperatura (°C)	Iluminación (Luxes)	Humedad (%)	Crecimiento (cm)	Cantidad de agua (ml)	Observador
1							
2							
3							
4							
5							
98							
99							
...							
100							

Frecuencia: cada 12 horas

3.6 Análisis estadístico del crecimiento de los germinados

Concluidos los experimentos realizados para la validación del funcionamiento del prototipo y recabada la información del cultivo de germinados del diseño experimental, se realizó el análisis estadístico para determinar la correlación de las variables que tienen mayor influencia sobre el crecimiento del germinado; se utilizaron los programas Minitab y EXCEL este último usando el paquete Real Statistics.

El paquete de recursos Real Statistics (2023) contiene funciones complementarias y herramientas de análisis estadístico que normalmente no proporciona Excel. Estos complementos para EXCEL facilitan la realización de los análisis estadísticos, fueron desarrollados por el Dr. Charles Zaiontz.

Las respuestas que fueron comparadas fueron: la longitud de crecimiento en diferentes días, el máximo de crecimiento y la velocidad de crecimiento. La Tabla 3.9 muestra el detalle del análisis estadístico realizado, comprende el análisis descriptivo y normalidad, el análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía (un factor) y las pruebas de rango múltiple, ANOVA de dos y de tres vías y finalmente una aproximación como diseño factorial.

Tabla 3.9 Análisis estadístico realizadas para la validación del germinador.

Tipo de análisis	Prueba		Descripción
Análisis descriptivo y normalidad	Análisis descriptivo		Cinéticas de crecimiento y determinación de velocidad de crecimiento.
	Medidas de tendencia central		Media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, rango, máximo, mínimo, cuartiles, etc.
	Gráficas de medias		Box Plot, QQ Plot, Dot Plot
	Verificación de los supuestos de modelo	Shapiro Wilk	Determina si los datos provienen de Poblaciones con Distribución Normal
		Grubbs	Determina la presencia de datos atípicos
Levene		Determina igualdad de varianzas por elementos entre grupos	
Análisis de Varianza (ANOVA)	Diseño Completamente al Azar (DCA)	ANOVA one way (1 Vía)	Experimentos con un solo factor para determina si hay diferencia significativa entre todos los grupos sin identificar cuáles.
	Bloques al azar	ANOVA two ways (2 Vías)	Compara los tratamientos para estudiar el efecto de dos factores.
Experimentos con un solo factor	Pruebas de Rango Múltiple	Tukey	Determina entre cuáles grupos hay diferencia significativa (grupos sin un control)
		Duncan	Determina entre cuáles grupos hay diferencia significativa (grupos sin un control).
Diseños Factoriales	Diseño Factorial 2 ^k	ANOVA diseño factorial	Considera 2 ^k tratamientos, k factores con dos niveles cada uno para determinar el efecto del factor y sus interacciones.
		Regresión Lineal Múltiple	Permite encontrar el modelo matemático considerando los efectos de los factores y sus interacciones.
		Superficie de Respuesta	Permite encontrar las mejores condiciones de operación.

Para poder aplicar un Diseño de Experimentos se deben cumplir los principios de aleatorización, repetición y control local que se indican en la Tabla 3.10. Además, en el análisis estadístico de resultados, las medidas de tendencia central proporcionan una mínima información acerca de los datos experimentales de una población, estas se observan en la Tabla 3.11. Relacionadas con estas medidas, las medidas de dispersión permiten observar la variación de los datos experimentales, comúnmente se usan el error estándar, la varianza y la desviación estándar, esta última es la raíz cuadrada de la varianza.

Tabla 3.10 Principios del Diseño de Experimentos.

Principios	Definición
Aleatorización	Distribución al azar de los tratamientos de un experimento.
Repeticiones	Es la repetición de un experimento dos o más veces, permite determinar el efecto del tratamiento y estimar el error experimental.
Control local	El control local reduce el error experimental cuando la aleatorización está restringida, la variable que no se puede aleatorizar, se separa en bloques para distribuir al azar los tratamientos.

Tabla 3.11 Medidas de tendencia central.

Medidas de tendencia central	Definición
Media, media aritmética o promedio	Valor central alrededor del cual fluctúan todos los datos numéricos, para calcularlo se realiza la sumatoria de todos los datos y se divide entre el número total de datos.
Mediana	Dato numérico que divide en partes iguales a una serie ordenada de todos los datos.
Moda	Dato numérico que se repite con mayor frecuencia en una serie ordenada de datos.

Tabla 3.12 Medidas de dispersión.

Principios del Diseño de Experimentos	Definición
Varianza	Grado de dispersión entre el valor central (generalmente la media o promedio) y cada valor individual
Desviación estándar	Medida de desviación relacionada con la varianza, es la raíz cuadrada de la varianza.
Error estándar	Es la desviación estándar de la media.
Coefficiente de variación	Es la desviación estándar de la media en porcentaje,

IV

Resultados y Discusión

4 Capítulo 4: Resultados y Discusión

4.1 Análisis cuantitativo

Se llevó a cabo la búsqueda en las bases de datos de patentes de México, Estados Unidos, Europa y la WIPO, recordando sus siglas y nombre exacto de la oficina de patentes:

- IMPI. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial
- USPTO. United States Patent and Trademark Office, Oficina de Patentes y Marcas Comerciales de Estados Unidos.
- EPO. Oficina Europea de Patentes.
- LATIPAT. Base de datos de patentes de Latinoamérica.
- WIPO. World Intellectual Property Organization, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. OMPI.

Se buscaron las palabras relacionadas con el trabajo, tanto en español como en inglés: Germinador y “Germinator”, Germinador de semillas y “Seed germinator”.

4.1.1 Búsqueda en la base de datos internacional de patentes, WIPO

4.1.1.1 Búsqueda con la palabra “Germinator”

De la búsqueda en la base de datos WIPO (World Intellectual Property Organization) con término en inglés “Germinator”, se obtuvieron 142 resultados de patentes las cuales se analizaron por país, año de publicación y Código CIP (Clasificación Internacional de Patentes).

En la Figura 4.1 se observa que el país que cuenta con más patentes es China, con 76 resultados de germinadores, este país cuenta con más de 70 patentes.

No. de Patentes

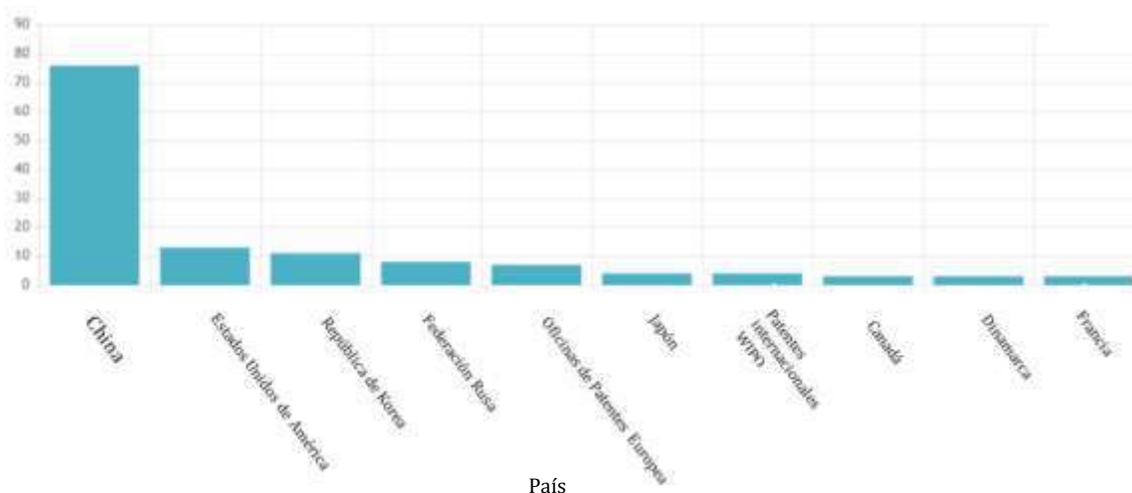


Figura 4.1 Países con patentes de germinadores (WIPO, 2022).

En la Figura 4.2, se muestran las patentes por la clasificación de Código CIP de acuerdo con su aplicación, las que ocupan los primeros lugares son A01C como accesorios agrícolas con 82 patentes, seguida de A01G con

40 patentes para cultivo de plantas y en tercer lugar A23L con 18 patentes para alimentación; en la Tabla 4.1 se muestra el detalle de cada código.

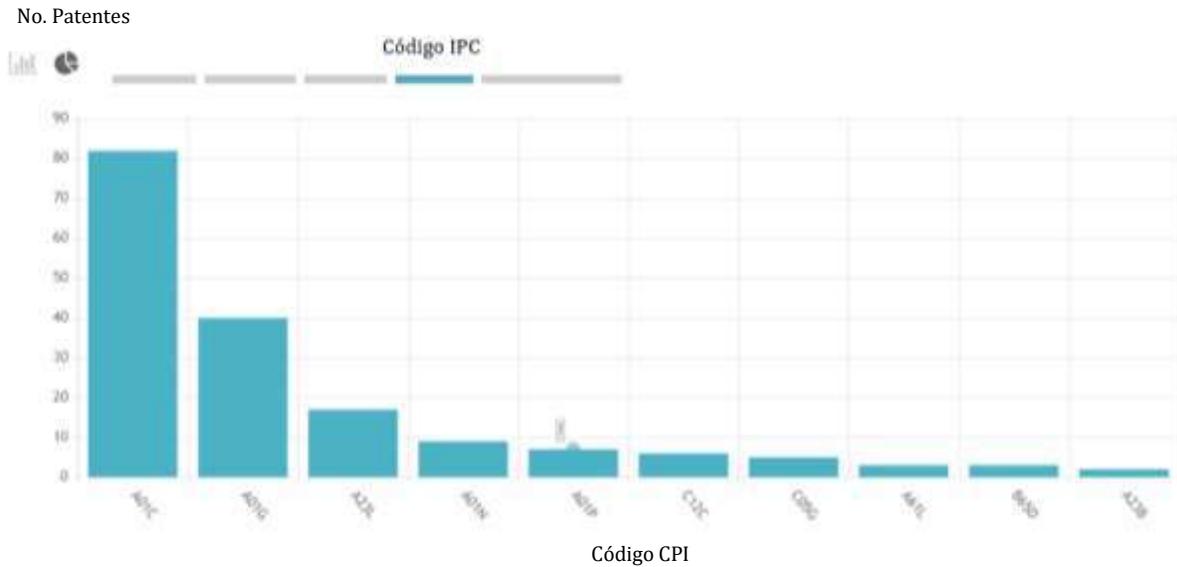


Figura 4.2 Clasificación Internacional de Patentes, CIP (WIPO, 2022).

Tabla 4.1 Clasificación Internacional de Patentes, CIP (WIPO, 2022).

Código Clasificación Internacional de Patentes (CIP)	Descripción
A01C	Siembra, fertilización, partes o accesorios agrícolas
A01G	Cultivo de hortalizas, flores, arroz, frutas, algas, silvicultura, riego y propagación de algas unicelulares
A23L	Alimentos, bebidas no alcohólicas, modificaciones de las cualidades nutritivas y conservación de alimentos

Respecto a las patentes presentadas por año, Figura 4.3, se produjeron más en el periodo de cinco años de 2015-2020. Destacando el año 2016 con 16 patentes, seguido del año 2018 con 15 patentes.

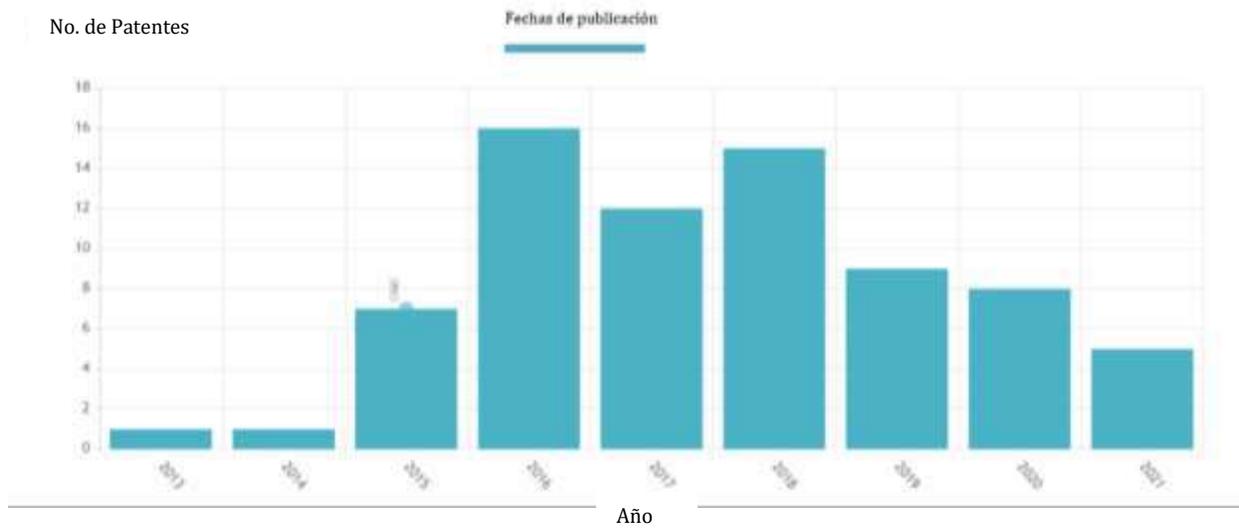


Figura 4.3 Patentes por año de germinadores (WIPO, 2022).

4.1.1.1.1 Análisis de una patente de interés

Se analizó la patente CN206423082 denominada “Germinador con función de autoinducción”, Figura 4.4, que resultó de especial interés para este trabajo de tesis. Este germinador posee un contenedor aislado para proteger el algodón del agua, cuenta con un sensor de humedad en la pared interna del contenedor y tiene como ventaja la función de autoinducción, así se distinguen las semillas que brotan rápidamente en determinadas temporadas, permitiendo alta supervivencia de la planta.

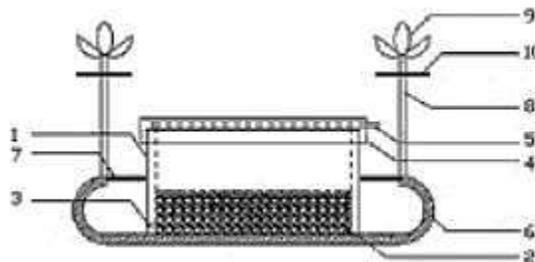


Figura 4.4 Germinador CN205423082 (WIPO, 2022).

4.1.1.2 Búsqueda con la palabra “Germinador”

Se realizó la búsqueda el 12 de enero de 2022 en la base de datos WIPO con el término en español “Germinador” de la que se obtuvieron 21 resultados. En la Figura 4.5 se observa que el país que cuenta con más patentes es España, con 11 patentes y 7 para Brasil.

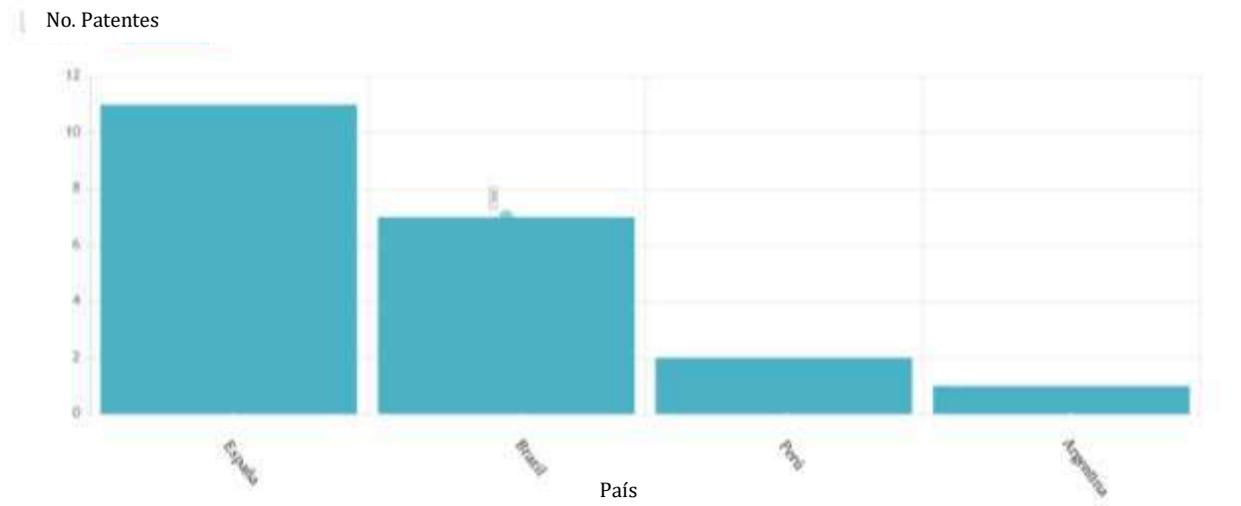


Figura 4.5 Patentes de germinadores por países (WIPO, 2022).

La Figura 4.6 muestra que en los años 2015-2017 y 2020 no se registraron patentes de germinadores, en 2013 y 2021 se registraron dos patentes por año.

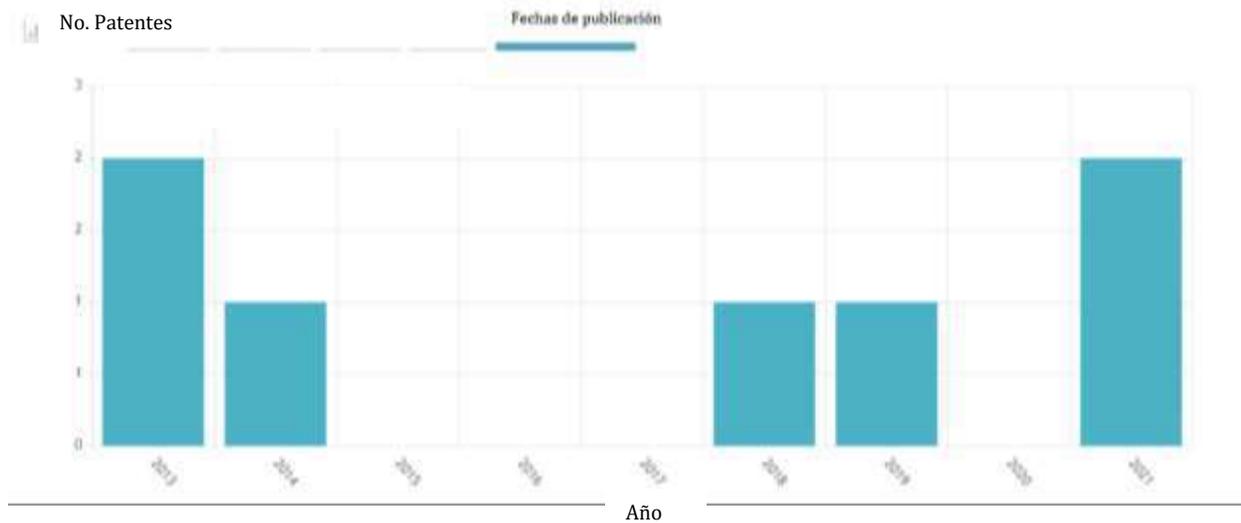


Figura 4.6 Patentes por año de germinadores (WIPO, 2022).

De igual manera que para “Germinator” para los Códigos CIP asignados a las patentes, es el código A01C (Siembra, fertilización, partes o accesorios agrícolas) el que mostró la mayor cantidad de patentes de acuerdo a la Figura 4.7, el código A01G (Cultivo de hortalizas, flores, arroz, frutas, algas, silvicultura, riego y propagación de algas unicelulares) tiene 6 patentes y en tercer lugar C12C con 5 patentes, este está relacionado con la preparación de cerveza, fermentación y dispositivos de ventilación para toneles.

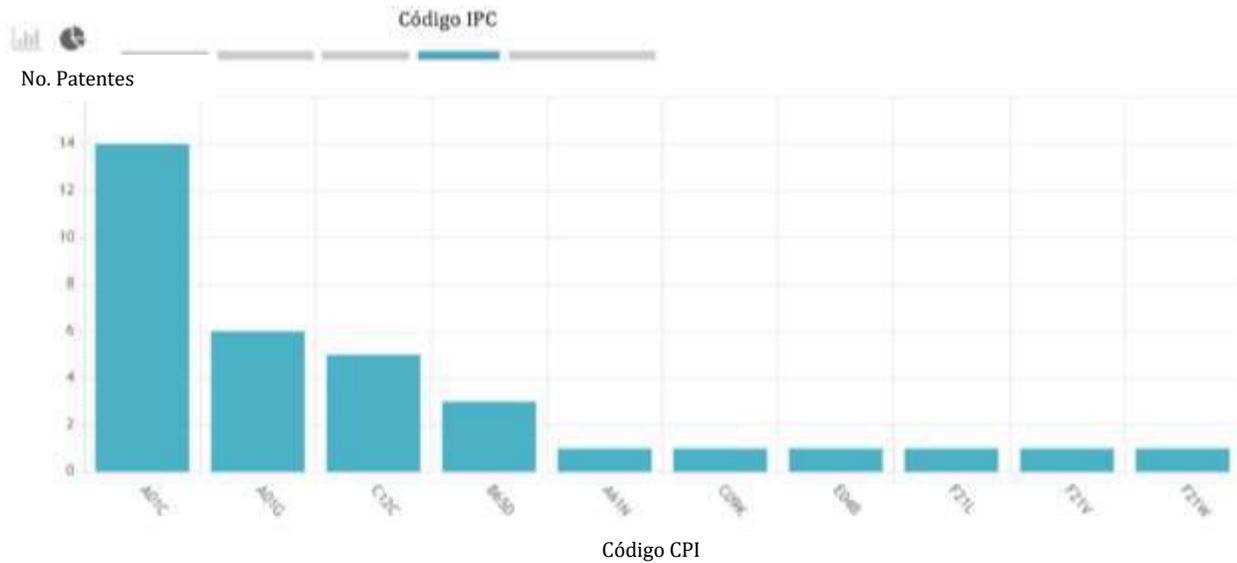


Figura 4.7 Clasificación Internacional de Patentes (CIP) (WIPO, 2022).

4.1.1.2.1 Análisis de una patente de interés

En la Figura 4.8 se presenta la patente ES2119349 de un germinador neumático con cilindro rotatorio continuo, este sistema es útil para extraer semillas individuales de un cúmulo de semillas para transferirlas a áreas preestablecidas.

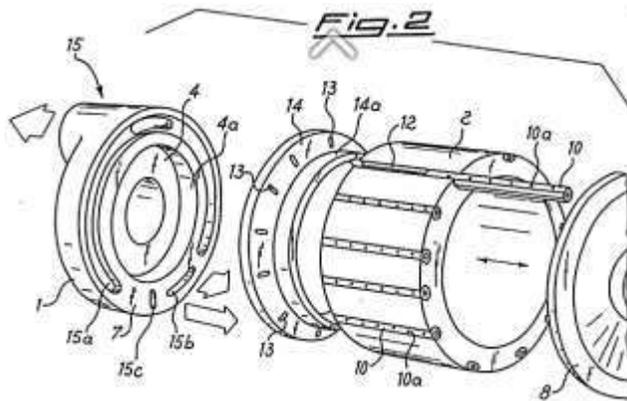


Figura 4.8 Dibujo de germinador con un cilindro rotatorio continuo (WIPO, 2022).

4.1.2 Búsqueda en la base de datos de patentes de México, IMPI

4.1.2.1 Búsqueda con la palabra “Germinador”

Se realizó la búsqueda el 12 de enero de 2022 en la base de datos el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial) con el término “Germinador” de la que se obtuvieron 17 resultados.

En la Figura 4.9 se muestran las patentes por año de germinadores, a partir del año 2014 se observa una tendencia al alza sobre patentes relacionadas con germinados, en los últimos diez años.

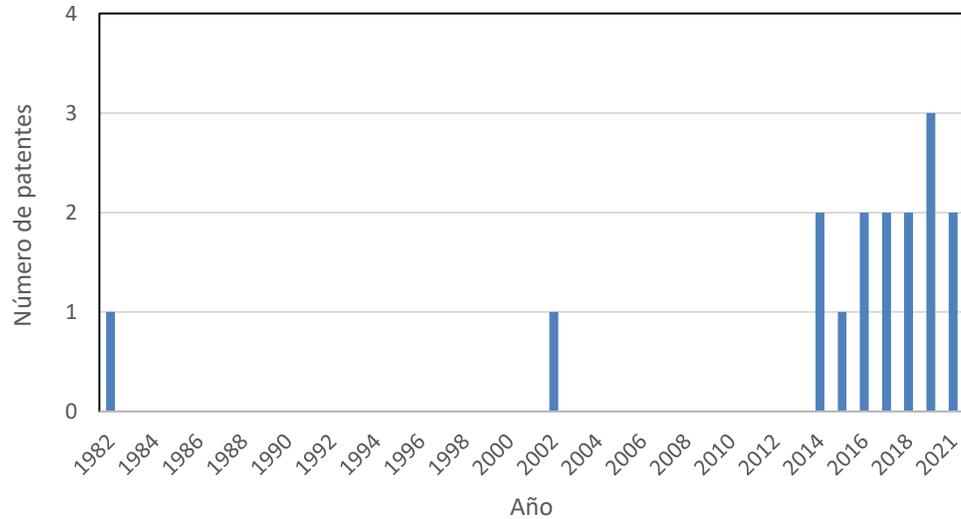


Figura 4.9 Patentes por año de germinadores (IMPI, 2022).

4.1.2.1.1 Análisis de una patente de interés

La patente MX/u/2020/000276 que se visualiza en la Figura 4.10 es un biorreactor aerobio germinador de semillas, conformado por un contenedor de plástico con capacidad de 600 litros de agua, modificado bajo diseño interno como biorreactor aerobio cilíndrico con un cono superior de abertura grande, cono inferior, boca de descarga, con tapo de descarga de producto y tapadera, capaz de calcificar, sanitizar, cultivar y germinar semillas de diferentes grupos como la mucilaginosas, oleaginosas, hortalizas, leguminosas, cereales y otras semillas alimenticias, esto bajo el régimen de lote alimentado como medio de drenado, con suministro continuo de aire de una compresora mediante tubería de cobre de ½”.

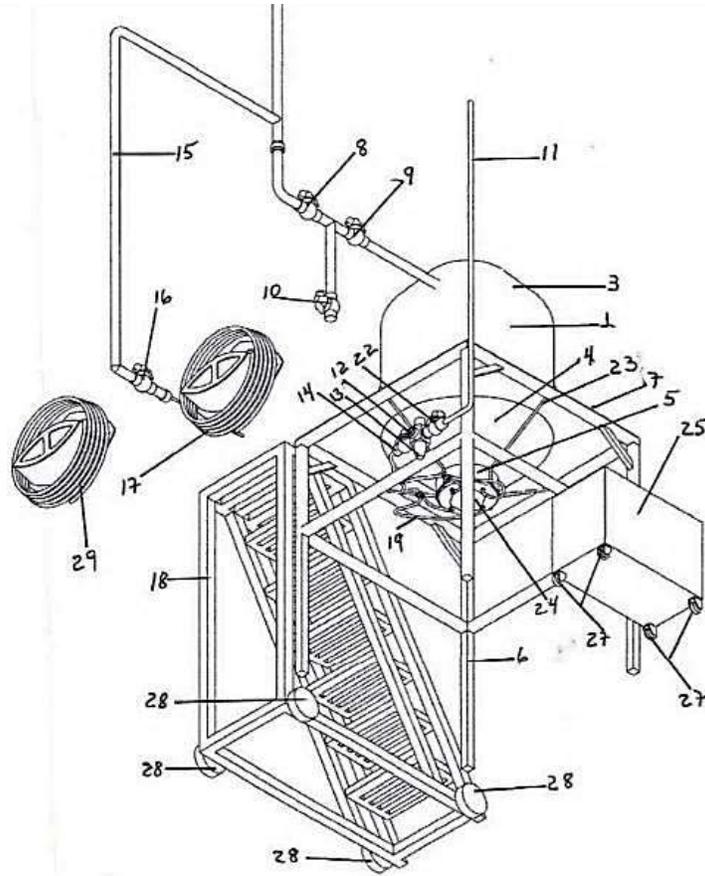


Figura 4.10 Patentes por año de germinadores (IMPI, 2022).

Su clasificación CIP corresponde a la nomenclatura A01G 31/06, la cual hace referencia a la horticultura, cultivo de hortalizas, flores, arroz, frutas o algas, silvicultura, riego y propagación de algas unicelulares.

4.1.3 Búsqueda en la base de datos de patentes de Estados Unidos, USPTO

4.1.3.1 Búsqueda con la palabra “Germinator”

Se realizó la búsqueda el 30 de enero de 2022 en la base de datos USPTO (United States Patent and Trademark Office), el término en inglés “Germinator” de la que se obtuvieron 80 resultados.

En la Figura 4.11 se muestran las patentes por año de germinadores desde 1976 al 2022.

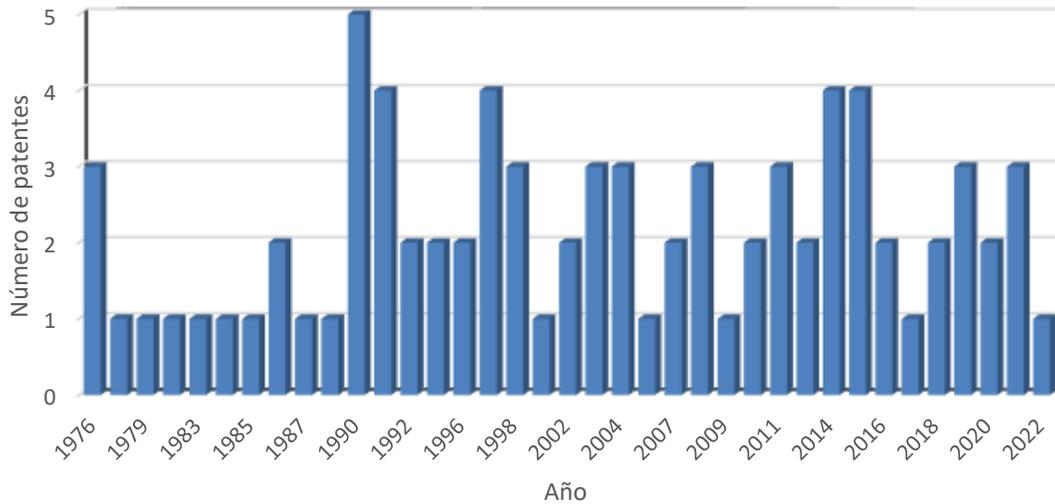


Figura 4.11 Patentes por año de germinadores. Fuente (USPTO, 2022).

4.1.3.1.1 Análisis de una patente de interés

La patente 59091106 es un “Germinador de granos estandarizado compacto”, el cual consiste en un recipiente de germinación de semillas que permite el germinado de este mediante condiciones controladas. El contenedor cuenta con una tapa que contiene una abertura cubierta por un colador de malla que permite una fácil eliminación de agua durante el lavado de las semillas. La abertura se puede sellar con una tapa que se puede abrir en un grado variable. También cuenta con una malla elevadora de semillas que puede soportar las semillas a una altura controlada por encima del fondo del recipiente. Se puede insertar una bolsa de semillas porosa que contiene una proporción medida de semillas en el germinador para mayor presión y limpieza del recipiente de germinación. Este posee el código CIP A01C, el cual hace referencia a la siembra, fertilización, partes o accesorios de máquinas o implementos agrícolas.

4.1.3.2 Búsqueda con las palabras “Seed Germinator”

Se realizó la búsqueda el 30 de enero de 2022 en la base de datos de la oficina de Patentes de Marcas Comerciales de Estados Unidos, USPTO (United States Patent and Trademark Office), con el término en inglés “Seed Germinator” de la que se obtuvieron 19 resultados.

En la Figura 4.12 se muestran las patentes por año de germinadores desde 1977 al 2022, son muy escasas e incluso hay años en los que no ha habido registros.

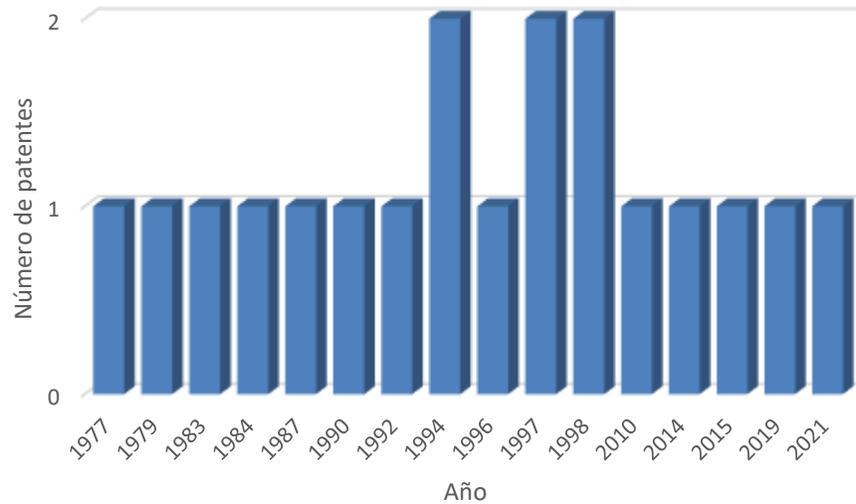


Figura 4.12 Patentes por año de germinadores (USPTO, 2022).

4.1.3.2.1 Análisis de una patente de interés

La patente 23941901 “Sistema de germinación de vainas de semillas biodegradables”, es un dispositivo sistemático para la germinación de semillas de plantas en condiciones controladas, consiste en un recipiente que contiene agua, cápsulas biodegradables, cubierta transparente con un orificio de ventilación, placa de alineación de cápsulas, indicador de humedad, mezcla de germinación, semillas, enmienda fertilizante y tubo de riego. Además, se describe un nuevo uso del papel para monedas como método para germinar semillas y hacer crecer plántulas para su introducción directa en un medio de cultivo alternativo sin necesidad de trasplantarla. Posee el código CIP A01G, el cual hace referencia a cultivo de hortalizas, flores, arroz, frutas, algas, procesos de selvicultura, riego, recolección de frutas, verduras o similares, así como también algas unicelulares.

4.1.4 Búsqueda en la base de datos de la Oficina Europea de Patentes

4.1.4.1 Búsqueda con la palabra “Germinator”

Se realizó la búsqueda el 02 de febrero de 2022 en la base de datos EPO (Oficina Europea de Patentes) el término en inglés “Germinator” de la que se obtuvieron 500 resultados.

En la Figura 4.13 se muestran las patentes por año de germinadores desde 1876 al 2022, es de notar el gran desarrollo de este equipo a partir de los años 70’s, aumentando de forma significativa en este siglo XXI, sobre todo a partir de 2010.

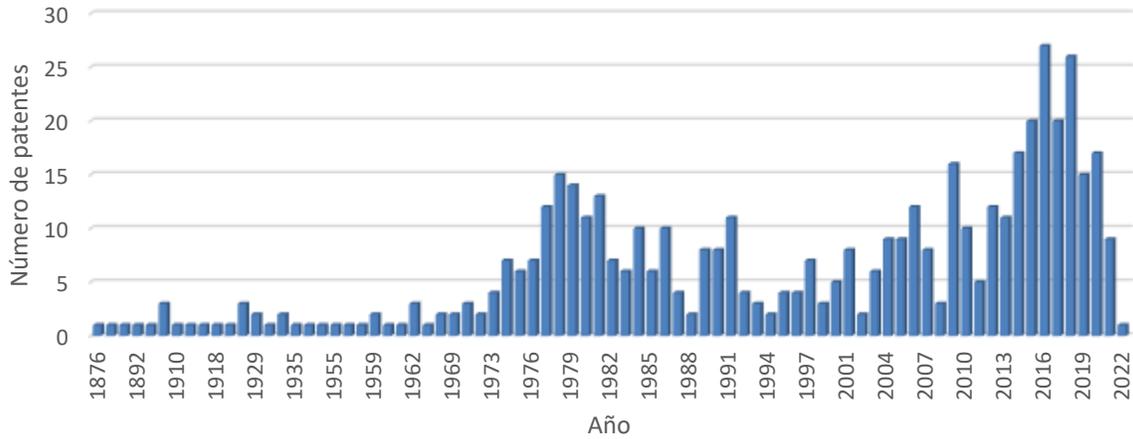


Figura 4.13 Años en los que se han patentado germinadores (EPO, 2022).

4.1.4.1.1 Análisis de patente de interés

El germinador de semillas US4000580A de la Figura 4.14 es desechable y económico, especialmente adaptado para observar el crecimiento de las semillas, comprende un cuerpo unitario formado por el sellado de dos láminas de material plástico, al menos una de estas es transparente, para formar una cámara de germinación ampliada; también cuenta con una estrecha cámara de nutrientes para plantas, un depósito de agua y canales que conectan el depósito de agua con la cámara de nutrientes y germinación. Posee el código CIP A01C1, el cual hace referencia a la siembra, fertilización y partes o accesorios de equipos.

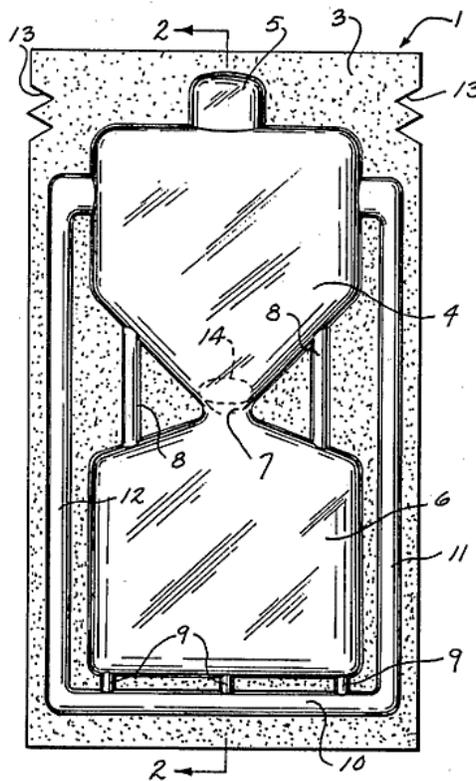


Figura 4.14 Patente de germinador de semillas US4000580 (EPO, 2022).

4.1.4.2 Búsqueda con las palabras “Seed Germinator”

Se llevó a cabo la búsqueda el 02 de febrero de 2022 en la base de datos USPTO el término en inglés “Seed Germinator” de la que se obtuvieron 450 resultados.

En la Figura 4.15 se observan las patentes por año de germinadores de 1905 al 2022, observándose un incremento notable después del año 2000.

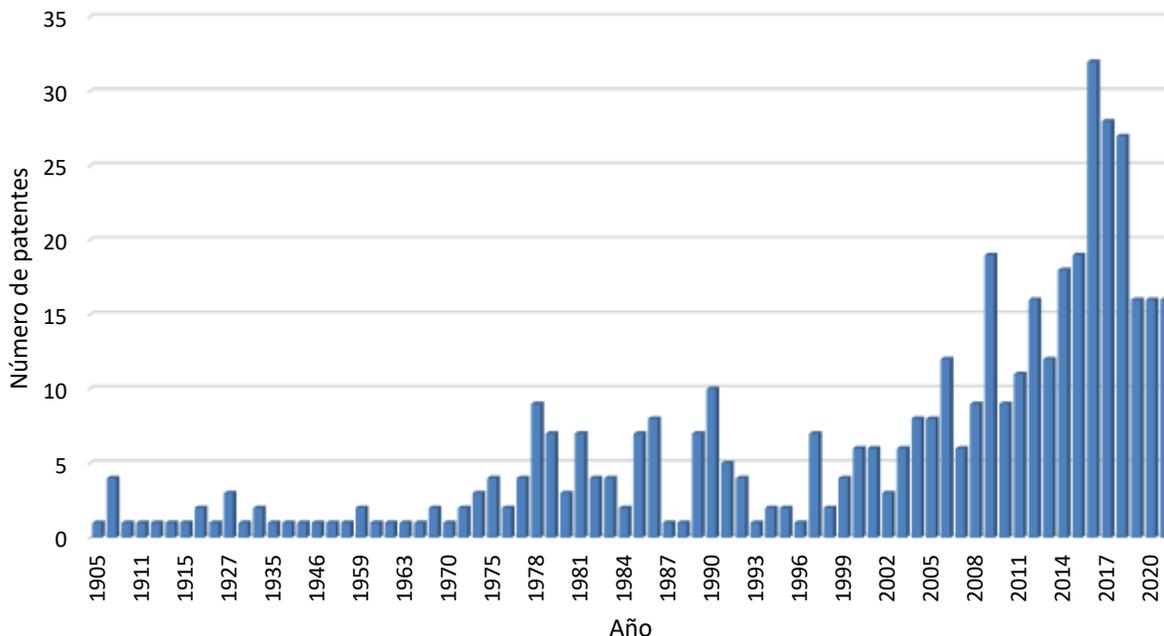


Figura 4.15 Años que se han patentado germinadores (EPO, 2022).

4.1.4.2.1 Análisis de una patente de interés

El germinador de semillas CN204316978U, Figura 4.16, está constituido por una caja para la germinación, una puerta en la caja que sella perfectamente, un tanque de agua, una bomba de agua y un motor. Este se caracteriza por que la caja de germinación está dispuesta sobre el tanque de agua y está conectada con la puerta de la caja de sellado a través de bloques de conexión, los tubos de las lámparas están dispuestos en la pared interior de la caja de germinación, posee tuberías de rociado de agua a través de una tubería, así como también una tubería de succión de agua está conectada al tanque de agua. La tubería de suministro de agua está conectada con las tuberías de rociado de agua, las boquillas de rociado están dispuestas en las tuberías de rociado de agua, el motor está en la caja de germinación. Las tuberías de rociado están dispuestas en la caja de germinación proporcionan humedad e iluminación para la germinación a una tasa más alta.

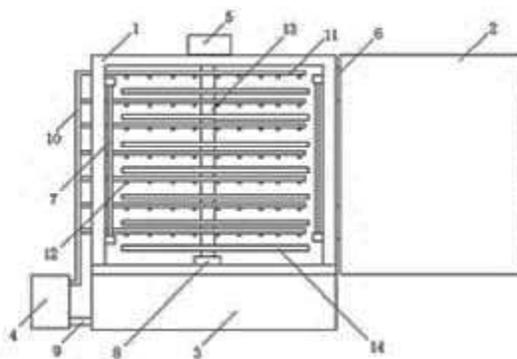


Figura 4.16 Germinador de semillas patente CN204316978U (EPO, 2022).

Esta patente posee el código CIP A01C1, el cual hace referencia a la siembra, fertilización y partes o accesorios de equipos.

4.1.5 Búsqueda en la base de datos de patentes de Latinoamérica

4.1.5.1 Búsqueda con la palabra “Germinador”

Se realizó la búsqueda el 02 de febrero de 2022 en la base de datos de Latinoamérica LATIPAT - ESP@CENET el término “Germinador” de la que se obtuvieron 25 resultados.

La Figura 4.17 muestra las patentes de germinadores de los años 1881 al 2022.

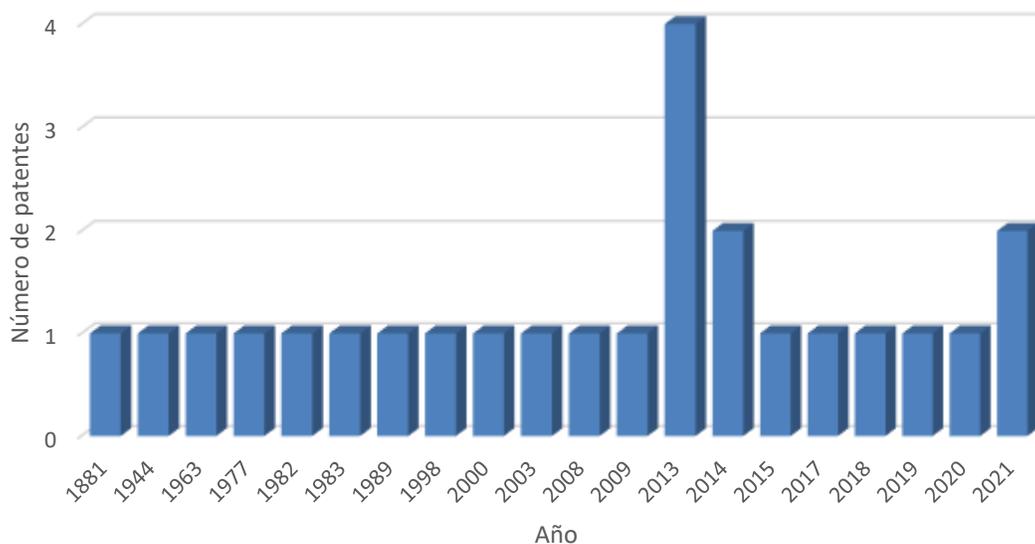


Figura 4.17 Años que se han patentado germinadores (EPO, 2022).

4.1.5.1.1 Análisis de una patente de interés

La patente CN203590700U de la Figura 4.18 es un modelo de utilidad de un Germinador para semillas de arroz, el cual está compuesto de un contenedor y una caja de control inteligente externa. Conectados y dispuestos en el fondo encuentran un dispersor de aire, un sensor de temperatura y un calentador. En el interior

del contenedor se encuentran colocados un sensor de nivel de agua y una malla para sostener las semillas. Las ranuras en el fondo del recipiente son pequeños orificios por los que se alimenta aire de manera uniforme. Es un modelo que puede reducir y controlar el tiempo de germinación de las semillas, además de asegurar un crecimiento normal mejorando su tasa de germinación. Esta patente posee el código CIP A01C1, el cual hace referencia a la siembra, fertilización y partes o accesorios de equipos.

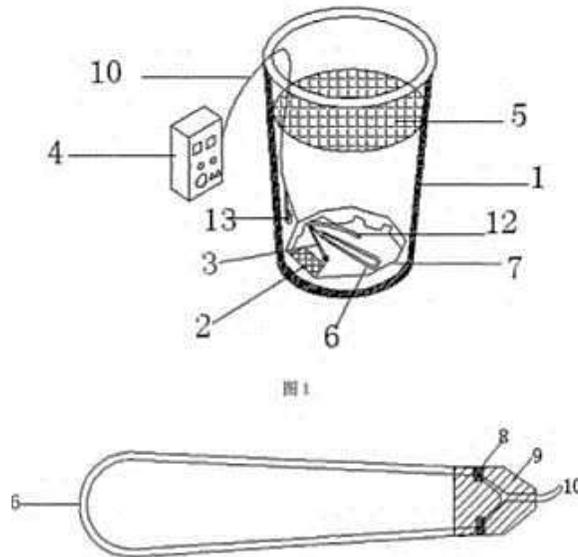
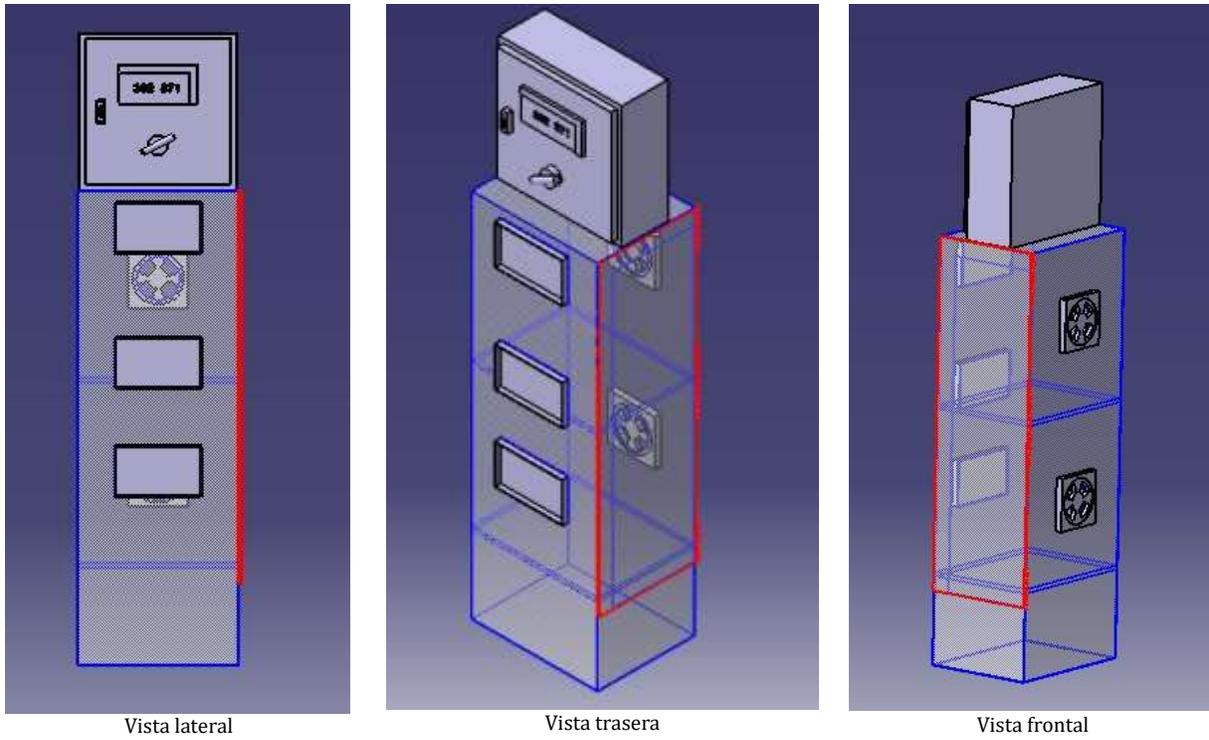


Figura 4.18 Patente de germinador CN203590700U (EPO, 2022).

4.2 Diseño y construcción del germinador

4.2.1 Diseño de germinador

En la Figura 4.19 se presentan diferentes vistas del diseño de prototipo del germinador, de 120.9 cm de alto x 41.4 cm de largo x 41.4 cm de ancho. La Figura 4.20 muestra el diseño interior, el cual cuenta con dos niveles, separados 40 cm con una charola de malla en cada uno, el agua es suministrada en la parte superior mediante la tubería de riego que se encuentra sostenida en el techo del gabinete; el fondo del gabinete tiene la función de ser un contenedor de agua. Una bomba sumergible localizada en el fondo sube el agua por la tubería, la malla dejar pasar el excedente para recuperarla. Encima del gabinete se ubica el tablero eléctrico que contiene el control electrónico para el funcionamiento del germinador.



Vista lateral

Vista trasera

Vista frontal



Figura 4.19 Diseño de prototipo de germinador, vistas frontal, lateral y trasera.

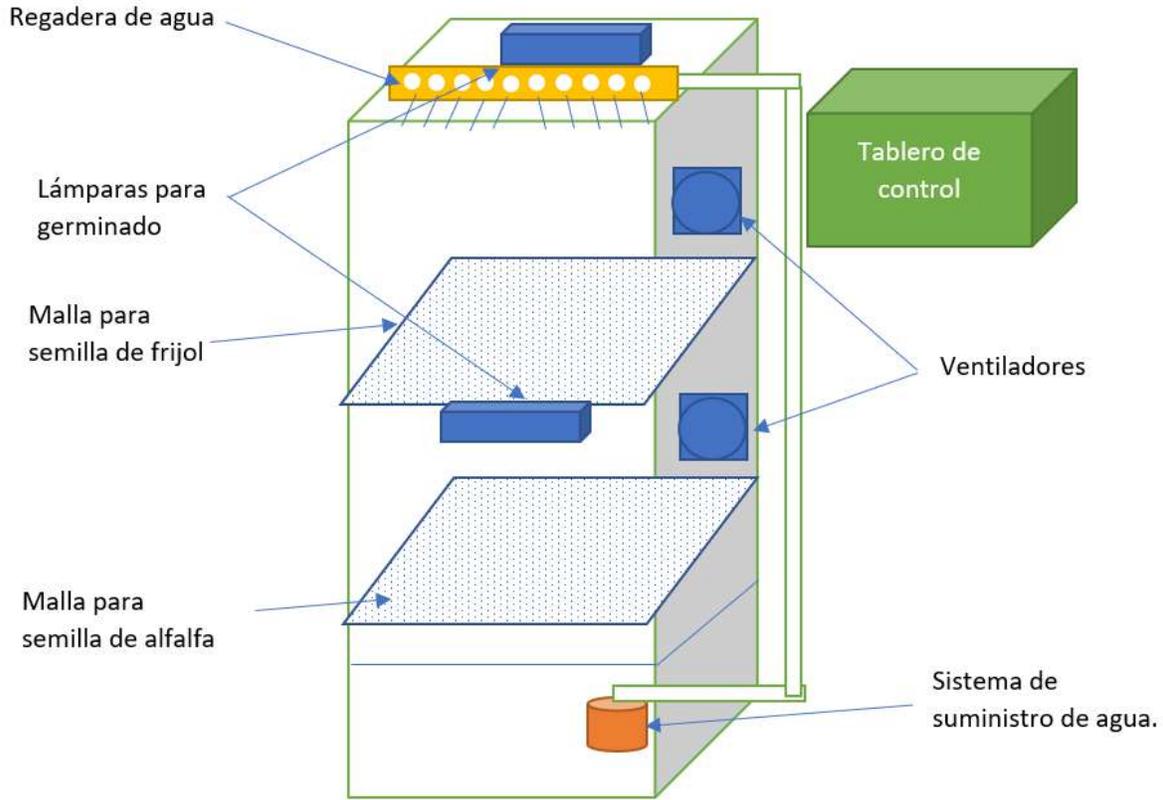


Figura 4.20 Diseño interior del prototipo de germinador. 1.2 m x 0.41 m x 0.41 m

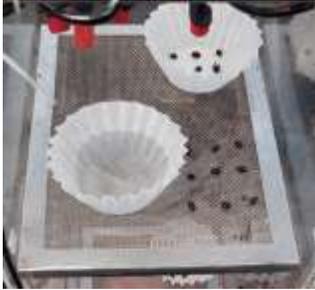
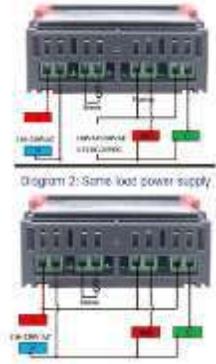
4.2.2 Construcción del germinador

En la Tabla 4.2 se muestran los materiales con los que se construyó el germinador, como son el acrílico que forma la estructura del germinador (gabinete), el sistema electrónico para el de control de las variables de temperatura y humedad que favorezca el crecimiento de los germinados.

- El germinador está constituido por un gabinete de acrílico grado alimenticio, el cual cuenta con dos charolas de mallas de distintos calibres o aperturas (luz del tamiz), la inferior es de 2 mm y la superior de 3 mm, para poder germinar semillas de diferente tamaño.
- El sistema electrónico permite medir y controlar la temperatura y la humedad, mediante el sistema de iluminación y el sistema de riego que se conectan al sensor de temperatura y humedad respectivamente. Este sistema es programable y su función es acelerar el crecimiento del germinado.
- El sistema de riego consta de tuberías colocadas en el techo del gabinete, la bomba sumergible para el suministro de agua y el contenedor que es el fondo del gabinete.
- El sistema de iluminación está compuesto de dos lámparas de luz LED ubicadas en cada nivel.
- El tablero o gabinete eléctrico que se ubica encima del gabinete contiene el control electrónico para el funcionamiento del germinador y concentra los dispositivos de conexión y control de las variables mencionadas.

En la Figura 4.21 se presenta el germinador ya construido.

Tabla 4.2 Listado de componentes de germinador.

Nombre	Modelo	Funcionamiento	Precio (MXN)	Fotografía
Acrílico 6 mm de espesor grado alimenticio.		FUNCIÓN: Forma el gabinete, la estructura principal del prototipo.	\$1000.00	
Charolas con malla de acero inoxidable		FUNCIÓN: Soportar las semillas para el desarrollo del germinado y dejar pasar el agua de riego para su recirculación.	\$500.00	
Control de temperatura 12V/24V/110V/220V Pantalla digital Medidor de temperatura y humedad con sensor integrado(110-220VAC)	STC-3028	<p>SEGURIDAD: carcasa de plástico ignífugo de ABS, más segura de usar.</p> <p>INTELIGENCIA: termostato de pantalla digital inteligente de microordenador, pantalla dual de temperatura dual.</p> <p>VENTAJAS: Con un amplio rango de medición de temperatura y rango de control, viene con un sensor integrado.</p> <p>ESPECIALIDAD: La pantalla digital grande y clara muestra la temperatura de medición, la alta precisión de la medición y el control de la temperatura.</p> <p>FUNCIÓN: Adecuado para el cambio automático de dispositivos de refrigeración y calefacción, como máquinas de mariscos y máquinas de agua de enfriamiento.</p>	\$439.00	 

<p>Lámpara de luz Led Para Crecimiento De Plantas</p>	<p>CBC004-537</p>	<p>Tecnología de chip superior –luz de crecimiento LED utilizando chips LED de bajo consumo, los diodos son más grandes y brillantes que el chip LED promedio. Esto da como resultado una luz de crecimiento sea un 20% más PAR (radiación fotosintéticamente activa) y un lumen que las luces LED estándar.</p> <p>Eficiencia energética– La avanzada tecnología de chip LED da un crecimiento superior al producir lúmenes iguales a una bombilla incandescente de 150 vatios con solo una fracción de la entrada de energía.</p> <p>Las bombillas LED también pueden durar más que las luces de crecimiento tradicionales. Cada luz cubre el espacio de 2 pies x 2 pies. Esta luz puede reemplazar una lámpara HPS/MH tradicional de 50W mientras consume solo 27W en total, ahorrando energía hasta un 40%.</p> <p>Luces de crecimiento de spectrum completas – Las bombillas LED proporcionan una mezcla de tono de color perfecta, igualando el espectro de luz solar y la escala kelvin, para todas las etapas de crecimiento, así como fortalecen la luz roja, azul y UV al mismo tiempo. ECRU Light Panel incluye luz blanca cálida y fresca con luces rojas y azules diversificadas que es perfecta para plantas vivas interiores, estantes y cultivo de tiendas de campaña.</p> <p>Ideal para clonación, vegetación y floración – Gracias al espectro completo de iluminación de luz de cultivo interior LED, es perfecto para usar en todas las etapas de crecimiento de la planta. La luz de crecimiento es perfecta desde la elevación de plantas de clon a la floración sin intercambiar luces. Ya sea que esté cultivando tomates, vegetales, fresas, pimienta, micro verde, hidroeléctrico o hierba, ECRU crece ligeramente cubre todas las necesidades de crecimiento escéptica y es una mejor adición para altos rendimientos.</p> <p>Fácil de instalar – El panel de luz de crecimiento ofrece muchos métodos diferentes de instalación. Se puede instalar fácilmente en brazos rotacionales de 180o, techos, postes y paredes. También se puede instalar utilizando la suspensión para un ajuste de altura más preciso.</p>	<p>\$513.00x2 = \$1,026.00</p>	
---	-------------------	--	--------------------------------	--

<p>Gabinete Metálico Eléctrico Ip65 Derrant 400x300x200m m</p>	<p>DE43200-M</p>	<p>Gabinete diseñado para uso en interiores, provee un grado de protección contra el polvo circulante, goteo de agua y escurrimiento de líquidos no corrosivos, no están diseñados para proveer protección contra condiciones de condensación interna.</p> <p>Ceja simple a 45° en gabinete para sellado con hule inyectado EPDM.</p> <p>Chapa de doble bit plástica.</p> <p>Puerta desmontable con bisagras de perno.</p> <p>Acceso inferior con tapa para paso de cableado.</p> <p>Tierra física en puerta y cuerpo.</p> <p>Lamina de acero calibre 18</p> <p>Pintura electrostática de resina de poliéster acabado texturizado color beige RAL 7032</p> <p>Lamina acero galvanizada calibre 16.</p> <p>No. DE CHAPAS - 1</p> <p>No. DE BISAGRAS -2</p> <p>Norma de protección - IP65</p> <p>Código NEMA - NEMA 12</p> <p>Tipo de sellado – Sello inyectado de poliuretano.</p> <p>Peso aproximado - 7 KG</p>	<p>\$1,035.00</p>	
<p>2.5m Bomba Agua Sumergible Fuente Pecera Acuario 2100l/h</p>	<p>CMH042</p>	<p>Cuenta con un control Smart, el funcionamiento en seco corta automáticamente la energía. (Principio: la operación de funcionamiento en seco aumentará la temperatura del motor, luego la bomba se apagará automáticamente, pero el motor a funcionar después de que baje la temperatura).</p> <p>Esta función puede reducir efectivamente el daño causado por el funcionamiento en seco.</p> <p>Con entrenador de succión inferior, 100% sumergible.</p> <p>Caudal máximo: 2100L/H FUERTE POTENCIA y ALTA.</p> <p>Altura máxima de elevación: 2,5 m.</p> <p>Motor de 40 W de alta eficiencia para ahorrar energía.</p> <p>Altura de elevación es la altura máxima a la que sube el agua, después de conectar la tubería de agua a la boquilla.</p> <p>Taza de succión con cable de alimentación.</p>	<p>\$486.00</p>	

<p>Kit De Sistema De Riego Por Goteo Y Pulverización Automático</p>	<p>1191712</p>	<p>Tipo de artículo: sistema de riego de jardín.</p> <p>Se puede aplicar a diferentes escenas de riego y satisfacer diversas necesidades.</p> <p>La velocidad de goteo se puede configurar según las necesidades para ahorrar tiempo y agua.</p> <p>Fácil de instalar con soporte fijo adjunto.</p> <p>Material PVC.</p> <p>Tamaño de la tubería: 4 mm (diámetro interior), 7 mm (diámetro exterior).</p> <p>Longitud de la manguera: 10 m</p> <p>El paquete incluye (10 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 x manguera 1 x dispositivo de perforación 10 x acoplamiento de púas individuales 10 x acoplamiento de púas dobles 10 x cierre final 10 x conector en T 10 x soporte fijo 10 x boquilla atomizadora 1 x gotero 1 x cinta de sellado 2 x junta de rosca 	<p>\$423.90</p>	
<p>TOTAL</p>			<p>\$4,909.90 mxn</p>	



Figura 4.21 Germinador construido.

4.2.3 Planos eléctricos

En la Figura 4.22 se muestra el plano eléctrico del prototipo de germinador, se dividió en cuatro partes: Equipo, Tablilla de conexión, Controlador de Temperatura y Humedad y otras variables.

- Equipo.
- Tablilla de conexión: tablero eléctrico con las conexiones para la operación del equipo.
- Medidor y controlador de Temperatura y Humedad: sensor electrónico de hibernadero.
- Otras Variables.

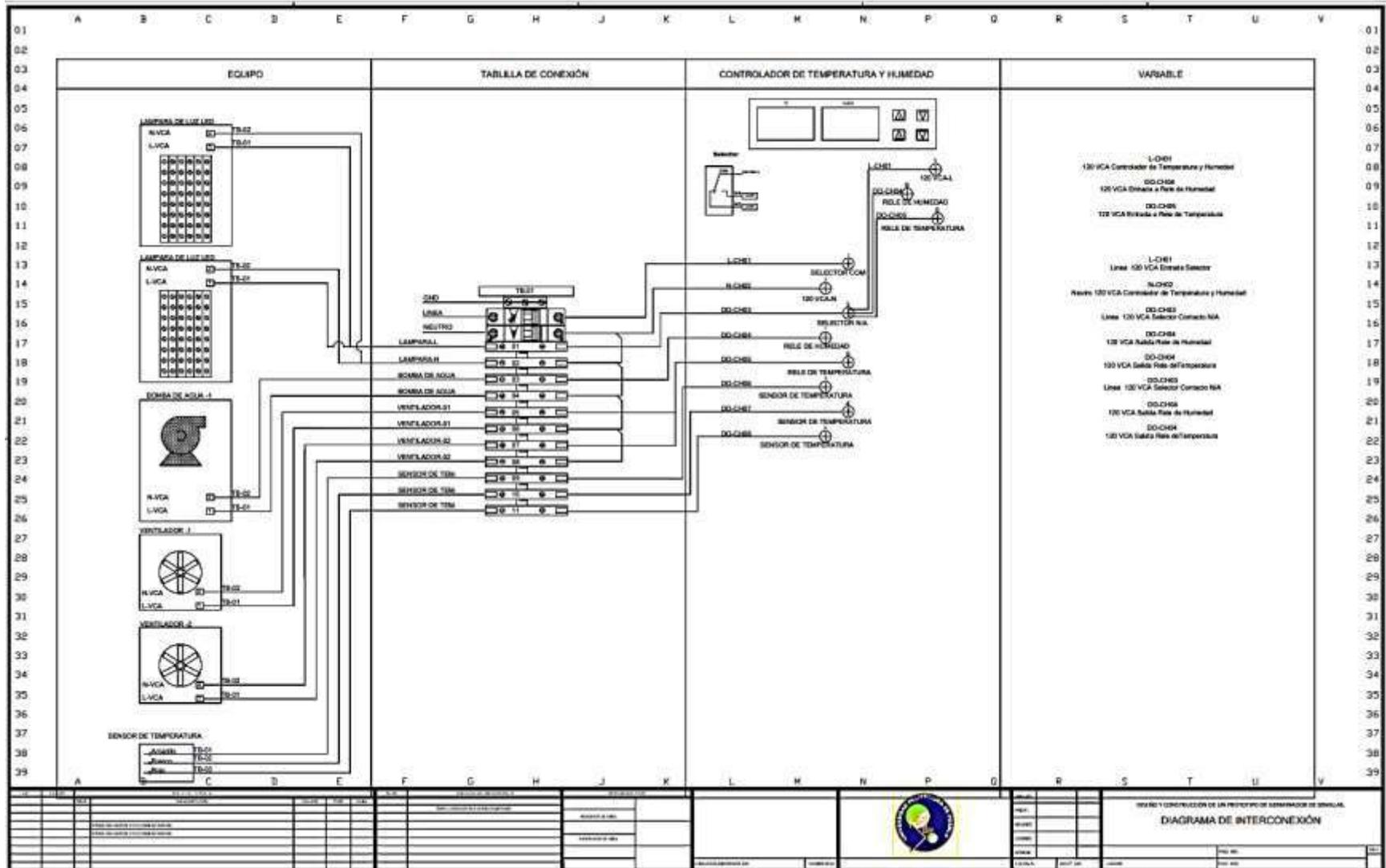


Figura 4.22 Diagrama eléctrico del germinador.

4.3 Validación del prototipo

Para la validación del prototipo de germinador primero se realizaron las pruebas de funcionamiento del prototipo modificando las variables sin germinados y posteriormente se realizaron los experimentos con las semillas.

4.3.1 Funcionamiento del germinador

Antes de colocar las semillas para producir los germinados, se realizaron pruebas en el germinador, originalmente se previeron dos charolas de diferente tamaño de luz (tamiz) para dos tipos de germinados; en la parte inferior se colocó la malla más cerrada para poner semillas pequeñas (en este trabajo se usó la alfalfa) y en la parte superior se puso la malla más abierta para las semillas más grandes (en este trabajo se usó el frijol).

Se verificó el sistema de control de temperatura y humedad que es programable, el sensor de temperatura y humedad se conecta al control. Se probó el sistema de riego, verificando el funcionamiento de la bomba de pecera sumergida en el agua, que la recircula para mantener la humedad seleccionada. De igual manera se verificó el sistema de iluminación para mantener la temperatura elegida.

En la Figura 4.23 se observa el control de temperatura y humedad al cual se conecta el sensor. El control tiene 4 botones para el ajuste de la temperatura y humedad, estas variables se programan y mandan la señal para activar el sistema de riego o de iluminación, principalmente en la noche. Para programar la variable de temperatura se utilizan los botones de la fila superior, el botón de la izquierda se deja oprimido por más de dos segundos hasta que parpadee el DISPLAY de la izquierda y se ajusta el límite inferior con ambos botones de acuerdo con las flechas; mientras que para el límite superior se oprime el botón de la derecha y se ajusta el valor con las flechas. Por ejemplo, para programar el rango de 15 a 20°C, al momento que llegue la temperatura por debajo de los 15°C, las lámparas se encienden y se mantienen así hasta superar los 20°C, este proceso se sigue mientras el tablero se encuentra energizado.

El mismo funcionamiento y programación se realiza para la variable de humedad, pero usando los botones de la fila inferior o segunda fila del DISPLAY.



Figura 4.23 Sensor de temperatura y humedad.

4.3.2 Cultivo de los germinados

Probado el funcionamiento operacional del prototipo y preparadas y seleccionadas las semillas, se realizó el proceso de germinación de estas de acuerdo con el diseño experimental, las semillas se cultivaron de la siguiente manera:

- Colocación de las semillas en la charola superior. En la charola superior que posee una malla de tamaño de luz del tamiz más grande que el de la charola inferior, se colocan dos secciones con semillas de frijol (una directo sobre la malla y la otra con papel filtro) y una sección con semillas de alfalfa sobre papel filtro, estas últimas no pudieron colocarse directamente en la malla por ser más pequeñas que el tamaño de luz del tamiz de la charola. La Figura 4.24 muestra la disposición de las semillas.

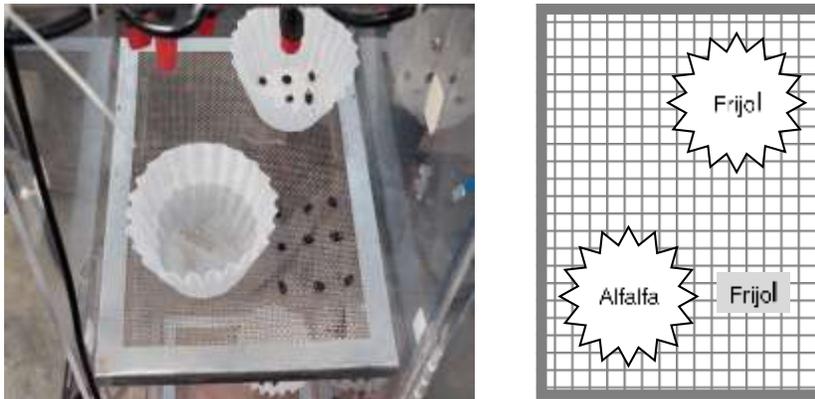


Figura 4.24 Colocación de semillas en la charola superior directamente y sobre papel filtro, no se pusieron las semillas de alfalfa directo sobre la malla por ser menor su tamaño que la luz del tamiz.

- Colocación de las semillas en la charola inferior. En la charola inferior, que posee una malla de tamaño de luz del tamiz más pequeña que la superior, se coloca en dos secciones las semillas de alfalfa y de frijol, directo sobre la malla y con papel filtro, como se muestra en la Figura 4.25. Esta charola posee una malla de tamaño de luz del tamiz más pequeña que la semilla de alfalfa por eso se pudo poner directamente en la charola.

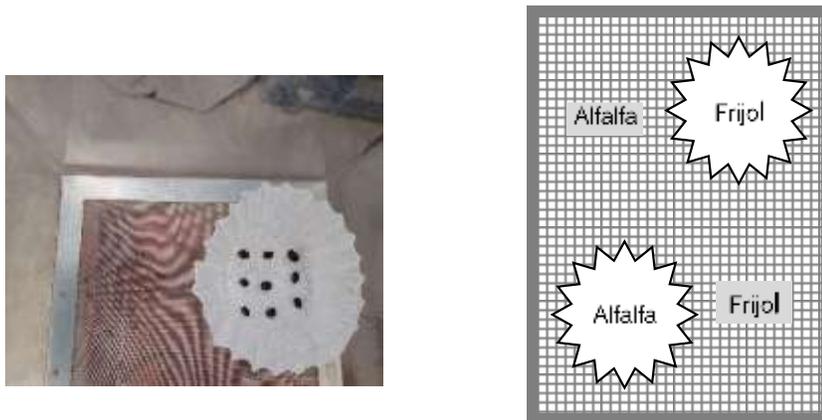


Figura 4.25 Colocación de semillas en la charola inferior directamente y sobre papel filtro, en esta charola si se pusieron las semillas de alfalfa directo sobre la malla por ser mayor su tamaño que la luz del tamiz.

- Finalmente se programaron las variables de temperatura y humedad conforme a lo indicado en §4.3.1.
- Las semillas se cambian cada 15 días, ya que es el periodo en el que se observa su crecimiento para ser considerado un germinado para consumo, se retiran y se repite el proceso de acuerdo con el tratamiento. Se realiza el cambio del agua y limpieza del gabinete en cada experimento.

4.3.2.1 Diseño Experimental

La Tabla 4.3 muestra la combinación de las variables de temperatura y humedad que se eligieron para realizar el diseño de experimentos y en la Tabla 4.4 se retoma la nomenclatura de los tratamientos de acuerdo con las semillas utilizadas, la posición de las charolas y la presencia de papel filtro. Se destacan en rojo los tratamientos que no fueron realizados, fueron los de semillas de alfalfa en la charola superior ya que esta tiene un tamaño de luz de tamiz mayor que el tamaño de la semilla, todos los demás tratamientos fueron realizados, se corrieron 42 tratamientos de los 48.

Tabla 4.3 Combinación de variables para el diseño de los experimentos.

Experimento	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Experimento 1	10-15	50-55
Experimento 2	15-20	60-65
Experimento 3	15-20	80-85
Experimento 4	20-25	65-70
Experimento 5	25-30	70-75
Experimento 6	25-30	85-90

Tabla 4.4 Nomenclatura de los experimentos: Primera letra, A= alfalfa o F=frijol; Segunda letra, S=charola superior o I=charola inferior; tercera letra, F=usando papel filtro o N=directo sobre malla sin usar papel filtro.

Nomenclatura	Charola	Descripción
ASF	Superior	Semillas de alfalfa sobre papel filtro
ASN	Superior	Semillas de alfalfa sin papel filtro (directo sobre la malla)
AIF	Inferior	Semillas de alfalfa sobre papel filtro
AIN	Inferior	Semillas de alfalfa sin papel filtro (directo sobre la malla)
FSF	Superior	Semillas de frijol sobre papel filtro
FSN	Superior	Semillas de frijol sin papel filtro (directo sobre la malla)
FIF	Inferior	Semillas de frijol sobre papel filtro
FIN	Inferior	Semillas de frijol sin papel filtro (directo sobre la malla)

Tabla 4.5 Combinación de variables para experimentos con semillas de alfalfa y frijol.

Experimento	Germinado	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Papel filtro	Posición de las charolas	Tratamientos Nomenclatura
Experimento 1	Alfalfa	10-15	50-55	SI	Superior	ASF1
					Inferior	AIF1
				NO	Superior	ASN1
					Inferior	AIN1
	Frijol			SI	Superior	FSF1
					Inferior	FIF1
				NO	Superior	FSN1
					Inferior	FIN1
Experimento 2	Alfalfa	15-20	60-65	SI	Superior	ASF2
					Inferior	AIF2
				NO	Superior	ASN2
					Inferior	AIN2
	Frijol			SI	Superior	FSF2
					Inferior	FIF2
				NO	Superior	FSN2
					Inferior	FIN2
Experimento 3	Alfalfa	15-20	80-85	SI	Superior	ASF3
					Inferior	AIF3
				NO	Superior	ASN3
					Inferior	AIN3
	Frijol			SI	Superior	FSF3
					Inferior	FIF3
				NO	Superior	FSN3
					Inferior	FIN3
Experimento 4	Alfalfa	20-25	65-70	SI	Superior	ASF4
					Inferior	AIF4
				NO	Superior	ASN4
					Inferior	AIN4
	Frijol			SI	Superior	FSF.4
					Inferior	FIF.4
				NO	Superior	FSN.4
					Inferior	FIN.4
Experimento 5	Alfalfa	25-30	70-75	SI	Superior	ASF.5
					Inferior	AIF.5
				NO	Superior	ASN.5
					Inferior	AIN.5
	Frijol			SI	Superior	FSF.5
					Inferior	FIF.5
				NO	Superior	FSN.5
					Inferior	FIN.5
Experimento 6	Alfalfa	25-30	85-90	SI	Superior	ASF.6
					Inferior	AIF.6
				NO	Superior	ASN.6
					Inferior	AIN.6
	Frijol			SI	Superior	FSF.6
					Inferior	FIF.6
				NO	Superior	FSN.6
					Inferior	FIN.6

4.3.2.2 Recopilación de datos

En las Tablas 4.6-4.12. se muestra la información recolectada de la medida de longitud del crecimiento de los germinados según la semilla y charola utilizados; las Tablas 4.4-4.6 corresponden a la semilla de alfalfa y las Tablas 4.7-4.10 a las semillas de frijol. Para cada tratamiento se realizó una cinética de crecimiento midiendo aproximadamente 9 semillas a los 7, 11 y 14 días.

Tabla 4.6 Malla inferior, semilla de alfalfa directo sobre la malla.

Malla inferior		B1.1			B1.2			B1.3			B1.4			B1.5			B1.6																				
Extremo superior izquierdo		07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22																				
Semilla de alfalfa directo sobre la malla		20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad																				
		14-may-22	18-may-22	21-may-22	26-may-22	27-may-22	28-may-22	04-jun-22	08-jun-22	11-jun-22	18-jun-22	22-jun-22	25-jun-22	02-jul-22	06-jul-22	09-jul-22	16-jul-22	20-jul-22	23-jul-22																		
Número		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)																		
1	2	10	15	0	0	0	0	0	5	7	3	3	3	23	25	26	20	20	30																		
2	6	10	20	0	0	0	0	0	3	4	5	5	5	22	23	24	10	40	42																		
3	8	11	15	0	0	0	0	0	2	3	9	9	9	22	23	25	20	30	40																		
4	3	10	15	0	0	0	0	0	2	2	6	6	6	24	26	27	30	25	30																		
5	3	10	12	0	0	0	0	0	1	1	3	3	3	20	22	24	30	31	32																		
6	2	9	15	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	18	22	24	25	25	40																		
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	19	21	23	22	30	30																		
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	16	18	20	20	28	30																		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	15	24	26	22	25	31																		
		Promedio de crecimiento (mm)			10.22222222			Promedio de crecimiento (mm)			0			Promedio de crecimiento (mm)			1.8888889			Promedio de crecimiento (mm)			4.8888889			Promedio de crecimiento (mm)			24.33333			Promedio de crecimiento (mm)			33.88889		

Tabla 4.7 Malla inferior, semilla de alfalfa sobre papel filtro.

Extremo inferior izquierdo		B4.1			B4.2			B4.3			B4.4			B4.5			B4.6																				
Semilla de alfalfa sobre papel filtro		07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22																				
		20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad																				
		14-may-22	18-may-22	21-may-22	26-may-22	27-may-22	28-may-22	04-jun-22	08-jun-22	11-jun-22	18-jun-22	22-jun-22	25-jun-22	02-jul-22	06-jul-22	09-jul-22	16-jul-22	20-jul-22	23-jul-22																		
Número		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)																		
1	3	10	15	0	0	0	0	0	12	14	10	10	10	17	20	35	68	70	76																		
2	7	10	15	0	0	0	0	0	11	15	5	5	5	13	25	30	40	60	90																		
3	10	10	15	0	0	0	0	0	13	18	10	10	10	21	23	25	58	60	80																		
4	8	10	20	0	0	0	0	0	6	9	4	4	4	20	22	24	50	55	75																		
5	8	9	10	0	0	0	0	0	6	11	6	6	6	20	21	32	36	46	95																		
6	6	9	10	0	0	0	0	0	0	3	12	12	12	35	35	36	45	50	55																		
7	0	0	15	0	0	0	0	0	0	3	6	6	6	22	25	25	55	55	70																		
8	0	0	15	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5	25	28	30	30	35	56																		
9	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	25	30	40	50	60																		
		Promedio de crecimiento (mm)			13.8888889			Promedio de crecimiento (mm)			0			Promedio de crecimiento (mm)			8.4444444			Promedio de crecimiento (mm)			6.4444444			Promedio de crecimiento (mm)			29.66667			Promedio de crecimiento (mm)			73		

Tabla 4.8 Malla superior, semilla de alfalfa sobre papel filtro.

Extremo inferior izquierdo		A4.1			A4.2			A4.3			A4.4			A4.5			A4.6																				
Semilla de alfalfa sobre papel filtro		07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22																				
		20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad																				
		14-may-22	18-may-22	21-may-22	26-may-22	27-may-22	28-may-22	04-jun-22	08-jun-22	11-jun-22	18-jun-22	22-jun-22	25-jun-22	02-jul-22	06-jul-22	09-jul-22	16-jul-22	20-jul-22	23-jul-22																		
Número		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)																		
1	3	10	16	0	0	0	0	0	3	3	18	18	18	30	33	37	30	80	86																		
2	3	10	15	0	0	0	0	0	2	2	10	10	10	25	29	32	35	87	88																		
3	0	10	16	0	0	0	0	0	1	1	12	12	12	25	31	33	25	85	90																		
4	0	10	16	0	0	0	0	0	1	1	13	13	13	35	41	45	28	77	88																		
5	0	10	12	0	0	0	0	0	2	2	15	15	15	40	46	48	43	62	75																		
6	0	5	11	0	0	0	0	0	2	2	7	7	7	25	36	40	35	60	65																		
7	0	5	10	0	0	0	0	0	3	3	15	15	15	33	41	50	30	70	72																		
8	0	6	10	0	0	0	0	0	1	1	18	18	18	30	39	40	32	75	100																		
9	0	4	9	0	0	0	0	0	1	1	5	5	5	28	37	40	30	40	55																		
		Promedio de crecimiento (mm)			12.7777778			Promedio de crecimiento (mm)			0			Promedio de crecimiento (mm)			1.7777778			Promedio de crecimiento (mm)			12.5555556			Promedio de crecimiento (mm)			40.555556			Promedio de crecimiento (mm)			79.8888889		

Se observa que el mayor crecimiento promedio se obtiene en condiciones de 25 a 30°C y con una humedad de 85 al 90% de humedad relativa, en catorce días se obtuvo en crecimiento promedio de 79 mm, esto en la malla superior con las semillas sobre el papel filtro.

Tabla 4.9 Malla inferior, semilla de frijol directo sobre la malla.

Periodo Extremo inferior derecho Semilla de frijol directo sobre la malla	B3.1			B3.2			B3.3			B3.4			B3.5			B3.6		
	07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22		
	20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad		
	Número	14-may-22 (mm)	18-may-22 (mm)	21-may-22 (mm)	26-may-22 (mm)	27-may-22 (mm)	28-may-22 (mm)	04-jun-22 (mm)	08-jun-22 (mm)	11-jun-22 (mm)	18-jun-22 (mm)	22-jun-22 (mm)	25-jun-22 (mm)	02-jul-22 (mm)	06-jul-22 (mm)	09-jul-22 (mm)	16-jul-22 (mm)	20-jul-22 (mm)
1	5	60	80	0	0	0	0	55	56	20	25	28	36	38	50	40	45	175
2	10	80	90	0	0	0	0	12	20	22	29	33	26	30	40	45	210	220
3	10	30	70	0	0	0	0	20	23	13	14	15	23	36	38	35	98	140
4	30	80	110	0	0	0	0	15	20	0	12	20	30	32	37	40	35	60
5	40	40	70	0	0	0	0	22	25	0	0	0	35	45	55	20	60	140
6	25	80	100	0	0	0	0	10	22	0	0	0	28	30	60	22	40	100
7	50	40	70	0	0	0	0	18	20	0	0	0	0	46	75	40	70	110
8	25	90	110	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	42	140	190
9	40	60	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	60	140
		Promedio de crecimiento (mm)	86.6666667		Promedio de crecimiento (mm)	0		Promedio de crecimiento (mm)	21.77778		Promedio de crecimiento (mm)	10.666667		Promedio de crecimiento (mm)	39.44444		Promedio de crecimiento (mm)	141.6667

Tabla 4.10 Malla inferior, semilla de frijol sobre papel filtro.

Periodo Extremo superior derecho Semilla de frijol sobre papel filtro	B2.1			B2.2			B2.3			B2.4			B2.5			B2.6		
	07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22		
	20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad		
	Número	14-may-22 (mm)	18-may-22 (mm)	21-may-22 (mm)	26-may-22 (mm)	27-may-22 (mm)	28-may-22 (mm)	04-jun-22 (mm)	08-jun-22 (mm)	11-jun-22 (mm)	18-jun-22 (mm)	22-jun-22 (mm)	25-jun-22 (mm)	02-jul-22 (mm)	06-jul-22 (mm)	09-jul-22 (mm)	16-jul-22 (mm)	20-jul-22 (mm)
1	22	45	80	0	0	0	0	5	8	9	11	14	25	35	36	15	140	220
2	25	60	70	0	0	0	0	11	12	6	8	10	30	34	45	50	70	75
3	5	90	90	0	0	0	0	5	6	8	13	25	55	67	45	105	150	150
4	20	50	90	0	0	0	0	0	15	17	18	35	55	60	35	75	110	110
5	10	40	90	0	0	0	0	0	25	31	42	25	32	35	25	50	75	75
6	10	90	100	0	0	0	0	0	0	5	12	10	26	50	6	50	60	60
7	30	110	140	0	0	0	0	0	0	4	8	16	20	50	20	180	210	210
8	25	70	90	0	0	0	0	0	0	0	0	40	50	50	50	75	90	90
9	20	45	67	0	0	0	0	0	0	0	0	17	20	55	34	60	220	220
		Promedio de crecimiento (mm)	90.7777778		Promedio de crecimiento (mm)	0		Promedio de crecimiento (mm)	2.77778		Promedio de crecimiento (mm)	13		Promedio de crecimiento (mm)	49.77778		Promedio de crecimiento (mm)	134.4444

Tabla 4.11 Malla superior, semilla de frijol directo sobre la malla.

Periodo Extremo inferior derecho Semilla de frijol directo sobre la malla	A3.1			A3.2			A3.3			A3.4			A3.5			A3.6		
	07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22		
	20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad		
	Número	14-may-22 (mm)	18-may-22 (mm)	21-may-22 (mm)	26-may-22 (mm)	27-may-22 (mm)	28-may-22 (mm)	04-jun-22 (mm)	08-jun-22 (mm)	11-jun-22 (mm)	18-jun-22 (mm)	22-jun-22 (mm)	25-jun-22 (mm)	02-jul-22 (mm)	06-jul-22 (mm)	09-jul-22 (mm)	16-jul-22 (mm)	20-jul-22 (mm)
1	0	10	30	0	0	0	0	0	12	12	16	20	30	105	110	20	95	100
2	0	5	22	0	0	0	0	0	0	15	22	27	47	70	90	50	130	190
3	0	10	50	0	0	0	0	0	0	14	15	16	25	55	75	36	160	170
4	0	20	50	0	0	0	0	0	0	16	25	35	20	38	55	28	75	100
5	0	10	35	0	0	0	0	0	0	33	45	20	55	60	35	90	145	145
6	0	20	55	0	0	0	0	0	0	0	0	30	26	37	26	110	130	130
7	0	30	100	0	0	0	0	0	0	0	0	24	25	40	36	85	110	110
8	0	70	110	0	0	0	0	0	0	0	0	15	25	50	70	90	120	120
9	0	35	70	0	0	0	0	10	10	0	0	35	28	55	35	95	130	130
		Promedio de crecimiento (mm)	58		Promedio de crecimiento (mm)	0		Promedio de crecimiento (mm)	2.4444444		Promedio de crecimiento (mm)	15.88889		Promedio de crecimiento (mm)	63.55556		Promedio de crecimiento (mm)	132.77778

Tabla 4.12 Malla superior, semilla de frijol sobre papel filtro.

Extremo superior derecho Semilla de frijol sobre papel filtro	A2.1			A2.2			A2.3			A2.4			A2.5			A2.6		
	07MAY22-21MAY22			21MAY22-28MAY22			28MAY22-11JUN22			11JUN22-25JUN22			25JUN22-09JUL22			09JUL22-23JUL22		
	20 - 25 °C & 65 - 70% Humedad			10 - 15 °C & 50 - 55% Humedad			15 - 20°C & 60 - 65% Humedad			25 - 30°C & 70 - 75% Humedad			15 - 20°C & 80 - 85% Humedad			25 - 30°C & 85 - 90% Humedad		
	Semillas	14-may-22 (mm)	18-may-22 (mm)	21-may-22 (mm)	26-may-22 (mm)	27-may-22 (mm)	28-may-22 (mm)	04-jun-22 (mm)	08-jun-22 (mm)	11-jun-22 (mm)	18-jun-22 (mm)	22-jun-22 (mm)	25-jun-22 (mm)	02-jul-22 (mm)	06-jul-22 (mm)	09-jul-22 (mm)	16-jul-22 (mm)	20-jul-22 (mm)
1	30	90	110	0	0	0	0	14	15	13	50	90	55	120	220	90	260	280
2	20	140	160	0	0	0	0	13	16	20	70	140	95	125	210	55	270	320
3	0	110	120	0	0	0	0	20	23	45	55	70	80	160	170	65	240	260
4	12	150	170	0	0	0	0	10	14	15	65	100	85	130	150	70	190	220
5	15	90	110	0	0	0	0	0	0	32	33	35	50	80	140	55	150	180
6	32	80	110	0	0	0	0	0	0	6	18	25	65	140	200	65	180	210
7	30	100	140	0	0	0	0	0	0	55	67	80	62	160	180	85	60	310
8	20	50	150	0	0	0	0	0	0	28	36	45	55	75	90	70	180	240
9	50	80	110	0	0	0	0	0	0	10	20	45	85	150	75	110	260	260
		Promedio de crecimiento (mm)	131.1111111		Promedio de crecimiento (mm)	0		Promedio de crecimiento (mm)	7.555556		Promedio de crecimiento (mm)	67.222222		Promedio de crecimiento (mm)	167.77778		Promedio de crecimiento (mm)	253.333333

Finalmente, para el caso de la semilla de frijol se obtuvo el mayor crecimiento promedio de 253 mm en las condiciones de 25 a 30°C a una temperatura de 85 a 90% de humedad relativa, esto en la malla superior cuando la semilla se encontró sobre papel filtro.

4.4 Análisis estadístico del crecimiento de los germinados

Concluidos los experimentos llevados a cabo para la validación del funcionamiento del prototipo y recabada la información del diseño experimental del cultivo de germinados, se realizó su análisis estadístico para determinar la correlación de las variables que tienen mayor influencia sobre el crecimiento del germinado. Se analizaron dos tipos de respuesta relacionadas con el crecimiento: la longitud máxima y la velocidad.

Se hizo el análisis descriptivo y la normalidad, el análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía (un factor), de dos vías (dos factores), las pruebas de rango múltiple y finalmente se analizaron los resultados como un diseño factorial 2^k , la Tabla 4.13 retoma el detalle del análisis estadístico indicado en la § Metodología.

Tabla 4.13 Análisis estadístico para la validación del germinador.

Tipo de análisis	Prueba		Descripción
Análisis descriptivo y normalidad	Análisis descriptivo		Cinéticas de crecimiento y determinación de velocidad de crecimiento.
	Medidas de tendencia central		Media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, rango, máximo, mínimo, cuartiles, etc.
	Gráficas de medias		Box Plot, QQ Plot, Dot Plot
	Verificación de los supuestos de modelo	Shapiro Wilk y d'Agostino-Pearson	Determina si los datos provienen de Poblaciones con Distribución Normal
		Grubbs	Determina la presencia de datos atípicos
		Levene	Determina igualdad de varianzas por elementos entre grupos
Análisis de Varianza (ANOVA)	Diseño Completamente al Azar (DCA)	ANOVA one way (1 Vía)	Experimentos con un solo factor para determina si hay diferencia significativa entre todos los grupos sin identificar cuáles.
	Bloques al azar	ANOVA two ways (2 Vía)	Compara los tratamientos para estudiar el efecto de dos factores.
Experimentos con un solo factor	Pruebas de Rengo Múltiple	Tukey	Determina entre cuáles grupos hay diferencia significativa.
		Duncan	Determina entre cuáles grupos hay diferencia significativa.
Diseños Factoriales	Diseño Factorial 2^k	ANOVA diseño factorial	Considera 2^k tratamientos, k factores con dos niveles cada uno para determinar el efecto del factor y sus interacciones.
		Regresión Lineal Múltiple	Permite encontrar el modelo matemático considerando los efectos de los factores y sus interacciones.
		Superficie de Respuesta	Permite encontrar las mejores condiciones de operación.

Cabe destacar que, para realizar un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los tratamientos, se debe cumplir con los supuestos del modelo; los cuatro principios o exigencias que debe cumplir un ANOVA son (Gutiérrez y De la Vara, 2008):

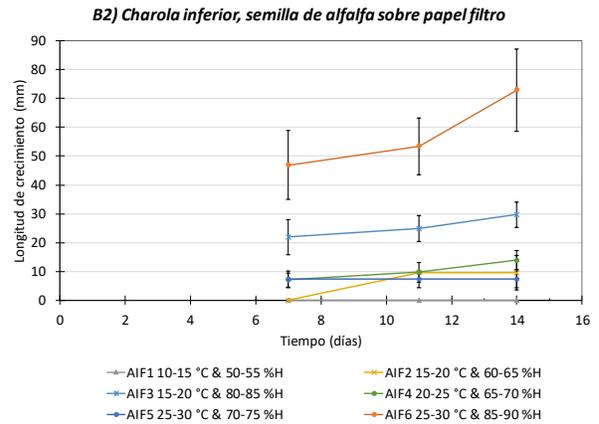
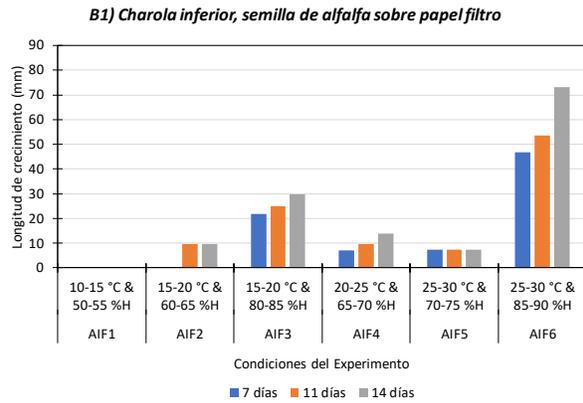
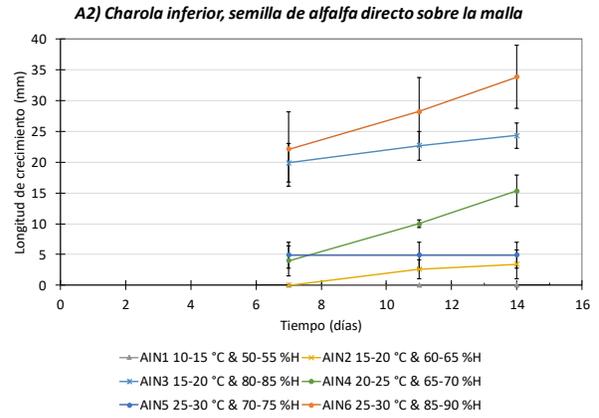
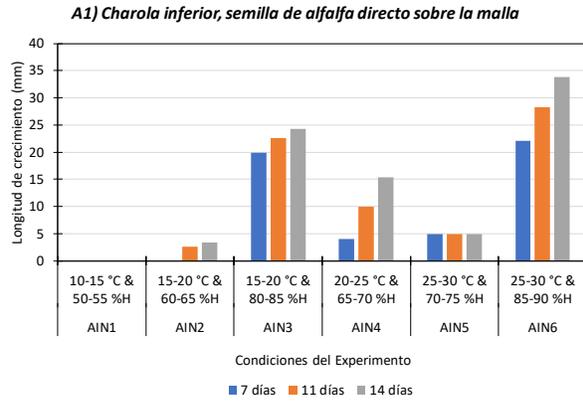
- **Aditividad.** El efecto principal debe ser aditivo, lo que significa que cada observación es la suma del valor medio de la población más el efecto del tratamiento más el efecto del error. Estos componentes deben ser aditivos, por lo que deben afectar de la misma forma a todos los resultados; además afectan de igual forma tanto los factores controlados como los no controlados como pueden ser: los operadores, los reactivos y equipo usados, el material utilizado, etc.
- **Homogeneidad de la varianza.** Los errores experimentales deben de tener una varianza similar; cuando la varianza no es homogénea afecta la interpretación del ANOVA. Para determinar los supuestos de homogeneidad de la varianza se realizaron el test de Levene.
- **Independencia.** El error debe estar distribuido en todas las muestras de manera independiente y con una distribución normal, no debe existir relación entre el tamaño del error y el grupo experimental al que pertenece. La falta de independencia se presenta frecuentemente cuando no hay homogeneidad de la varianza, cuando eso sucede se puede hacer una transformación matemática de los datos, por ejemplo, una transformación logarítmica. La aleatorización de las variables en el diseño experimental asegura que se cumpla la independencia del error.
- **Normalidad.** Los errores experimentales deben estar distribuidos homogéneamente alrededor de cero, 0. Si los residuos siguen una distribución normal, al graficarlos, tienden a quedar alineados en una línea recta; si no se alinean, el supuesto de normalidad no es correcto. Sin embargo, el ajuste de los puntos a una línea recta no tiene que ser perfecto ya que el análisis de varianza resiste desviaciones pequeñas al supuesto de normalidad. Para determinar los supuestos de normalidad, se realizan los tests de Shapiro Wilk y d'Agostino-Pearson.

4.4.1 Análisis descriptivo y normalidad

4.4.1.1 Análisis descriptivo

4.4.1.1.1 Germinados de alfalfa

En la Figura 4.26 se presentan las cinéticas de crecimiento de los germinados de alfalfa tanto en gráfico de barras como en gráfico de puntos. Las gráficas de barras permiten observar las tendencias y en este caso las condiciones en las que hubo un mayor crecimiento de alfalfa que fueron de 25-30 °C & 85-90 %HR en charola superior con papel filtro. Las gráficas de puntos corresponden a las cinéticas de longitud de crecimiento en función del tiempo y permitieron determinar la velocidad de crecimiento calculando la pendiente de la recta como se muestra en la Figura 4.27 para alfalfa crecida en charola inferior. En la Tabla 4.14 se recuperaron los valores máximos de longitud de crecimiento, a los 14 días, y de velocidad de crecimiento, esta última corresponde a la pendiente de la cinética seguida durante 14 días.



C1) Charola superior, semilla de alfalfa directo sobre la malla.
NO FUE REALIZADO

C2) Charola superior, semilla de alfalfa directo sobre la malla.
NO FUE REALIZADO

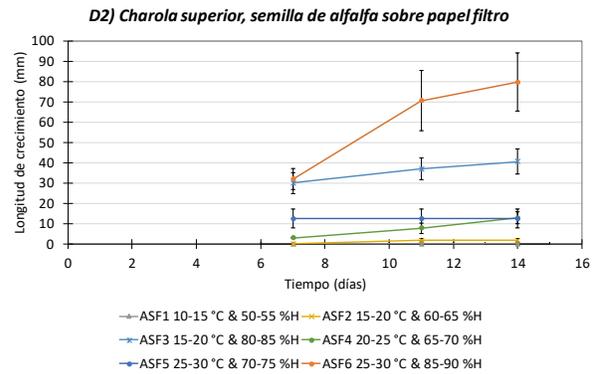
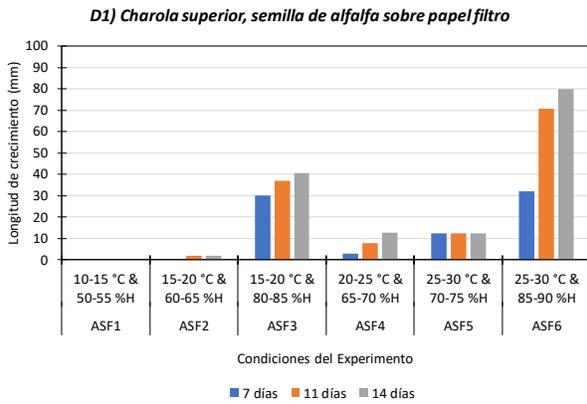


Figura 4.26 Cinética del crecimiento de germinados de alfalfa.

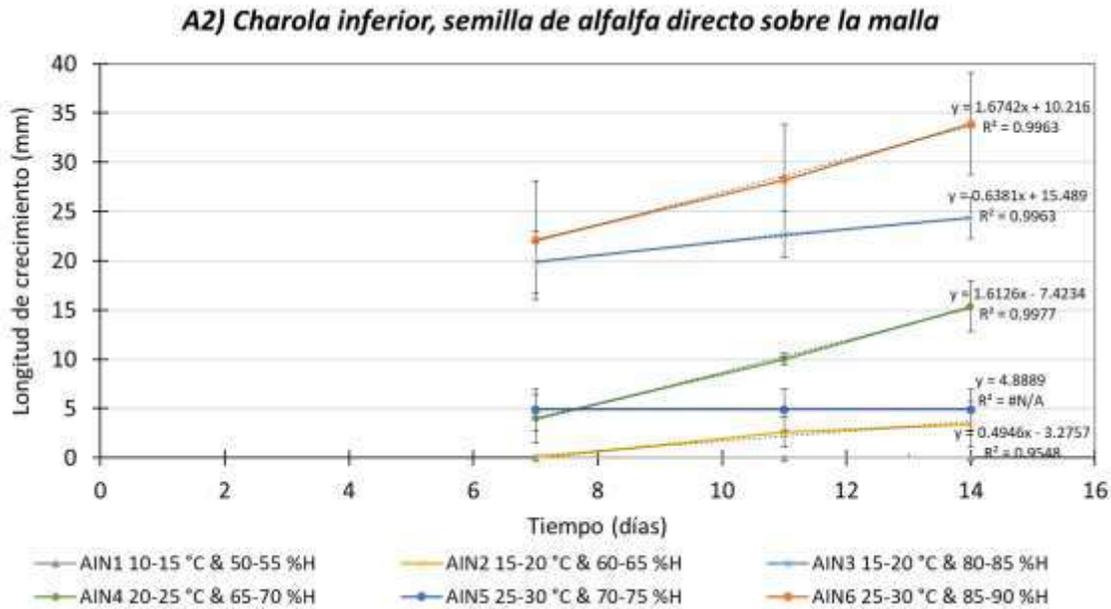


Figura 4.27 Ejemplo del cálculo de la pendiente de la cinética del crecimiento de semillas de alfalfa en charola inferior directo sobre la malla para la determinación de la velocidad de crecimiento.

En rojo se muestran los tratamientos que no se realizaron para alfalfa, fueron los de la charola superior directo sobre malla. En color naranja se observan los resultados de mayor longitud de crecimiento y velocidad de crecimiento, 79.89 mm y 6.99 mm/d respectivamente, a las condiciones de 25-30 °C & 85-90 %HR en charola superior con papel filtro. En la charola inferior se obtuvo una longitud de crecimiento de 73 mm con una velocidad de crecimiento menor de 3.62 mm/d.

Los resultados muestran que cuando se utiliza de papel filtro no hay una tendencia del efecto de la posición de las charolas, ya que en algunos casos es mayor el crecimiento en la charola superior y en otros en la inferior. Es mayor el efecto del uso del papel filtro en el crecimiento del germinado de alfalfa, por la retención de humedad, a pesar de que el experimento de la charola superior directo sobre malla no se realizó. En efecto, se observa que para la posición de la charola inferior la presencia del papel filtro favorece el crecimiento y su velocidad.

No hubo crecimiento en las condiciones de 10-15 °C y 50-55 % HR, independientemente de la posición de la charola y la presencia de papel filtro. También se observó que la humedad es una condición necesaria para el desarrollo del germinado de alfalfa, ya que los crecimientos mayores fueron para 80-85 %HR y 85-90 %HR, a pesar de que el crecimiento a 15-20°C con 80-85 %H fue menor que a 25-30°C, fue el que le siguió en longitud de crecimiento con 40.55 mm.

Tabla 4.14 Análisis descriptivo para germinados de alfalfa.

Experimento	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Papel filtro	Charola	Tratamientos Nomenclatura	Longitud máxima de crecimiento (mm)	Pendiente (mm/d)	Coefficiente de Regresión Lineal R ²
Experimento 1	10-15	50-55	SI	Superior	ASF.1	0.0000	0.0000	-
				Inferior	AIF.1	0.0000	0.0000	-
			NO	Superior	ASN.1	-	-	-
				Inferior	AIN.1	0.0000	0.0000	-
Experimento 2	15-20	60-65	SI	Superior	ASF.2	1.7778	0.2643	0.8176
				Inferior	AIF.2	9.5000	1.4135	0.8105
			NO	Superior	ASN.2	-	-	-
				Inferior	AIN.2	3.4000	0.4946	0.9548
Experimento 3	15-20	80-85	SI	Superior	ASF.3	40.5556	1.5045	0.9900
				Inferior	AIF.3	29.6667	1.0916	0.9551
			NO	Superior	ASN.3	-	-	-
				Inferior	AIN.3	24.3333	0.6381	0.9963
Experimento 4	20-25	65-70	SI	Superior	ASF.4	12.7778	1.3859	0.9909
				Inferior	AIF.4	13.8889	0.9670	0.9558
			NO	Superior	ASN.4	-	-	-
				Inferior	AIN.4	15.3333	1.6126	0.9977
Experimento 5	25-30	70-75	SI	Superior	ASF.5	12.5556	0.0000	-
				Inferior	AIF.5	7.2500	0.0000	-
			NO	Superior	ASN.5	-	-	-
				Inferior	AIN.5	4.8889	0.0000	-
Experimento 6	25-30	85-90	SI	Superior	ASF.6	79.8889	6.9940	0.9345
				Inferior	AIF.6	73.0000	3.6171	0.8745
			NO	Superior	ASN.6	-	-	-
				Inferior	AIN.6	33.8889	1.6742	0.9963

4.4.1.1.2 Germinados de frijol

En la Figura 4.28 se presentan las cinéticas de crecimiento de los germinados de frijol, en gráfico de barras y en gráfico de puntos. Las gráficas de puntos corresponden a las cinéticas de longitud de crecimiento en función del tiempo y permiten determinar la velocidad de crecimiento calculando la pendiente de la recta como se hizo anteriormente para alfalfa; en la Figura 4.29 se muestra cómo se realizó para este caso. En la Tablas 4.15 se presentan los valores máximos de longitud de crecimiento a los 14 días y las velocidades de crecimiento, calculadas para cada tratamiento como se indicó. Las condiciones en las que hubo un mayor crecimiento de frijol fueron de 25-30 °C & 85-90 %HR en charola superior con papel filtro, al igual que con alfalfa.

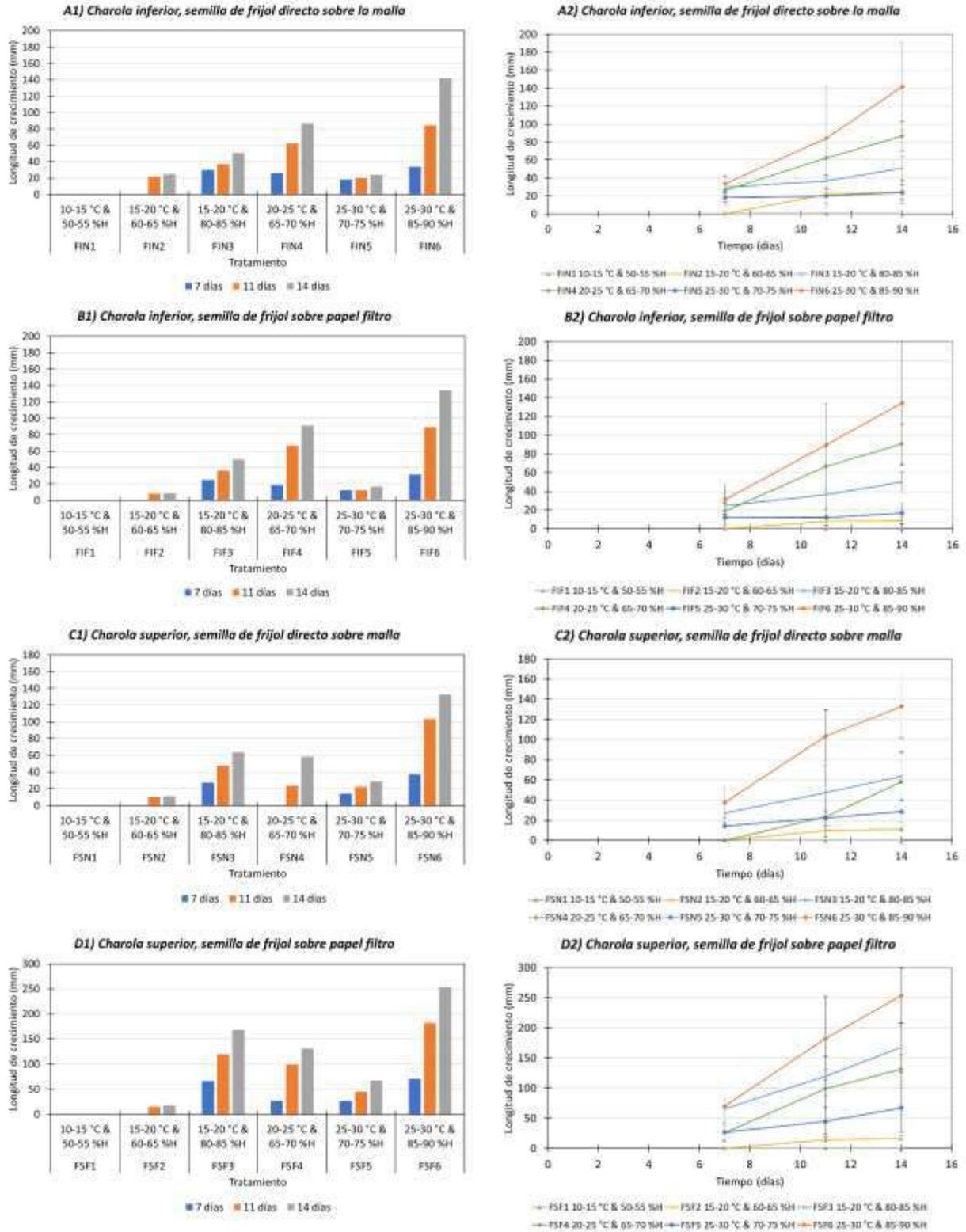


Figura 4.28 Cinética del crecimiento de germinados de frijol.

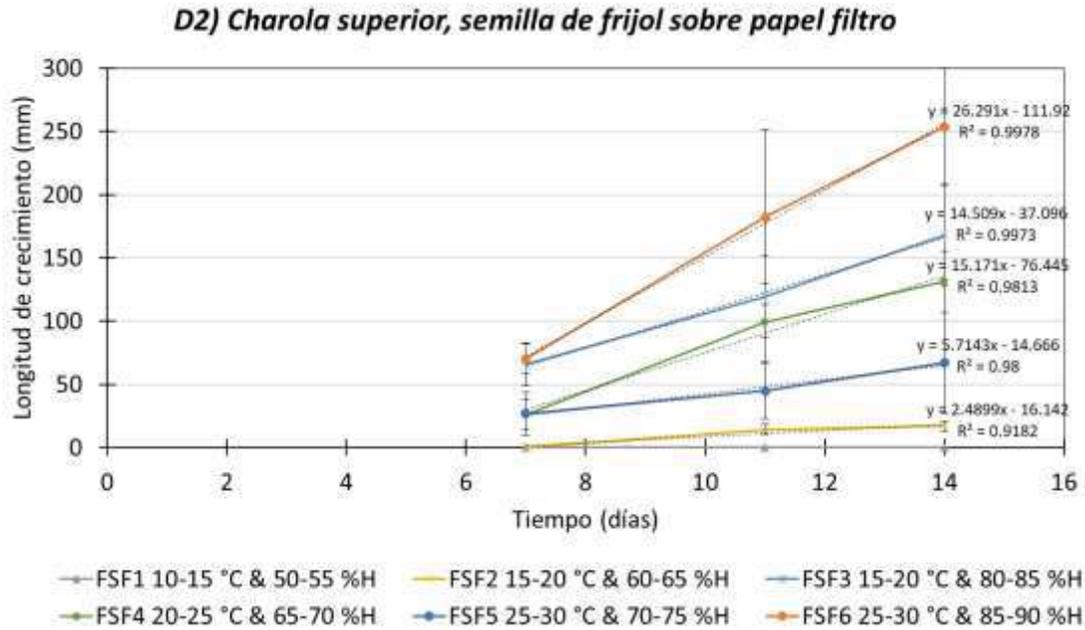


Figura 4.29 Ejemplo del cálculo de la pendiente de la cinética del crecimiento de semillas de frijol en charola superior sobre papel filtro para la determinación de la velocidad de crecimiento.

En todos los casos el crecimiento y la velocidad de crecimiento de su germinado fueron mayores que los de alfalfa. Las mejores condiciones de crecimiento son 25-30 °C y 85-90 % H, en la charola superior y usando papel filtro; sin embargo, de manera general, en la charola superior la presencia de papel filtro favorece el crecimiento y la velocidad de crecimiento del germinado, sin embargo, en la charola inferior pasa lo contrario, crece mejor sin papel filtro. En el desarrollo de germinados de frijol, la humedad no es la condición más importante para el desarrollo del germinado, ya que en las condiciones de 20-25 °C y 65-70 % de humedad también hubo buen crecimiento, aunque menor al máximo obtenido. Como en el caso de la alfalfa, no hubo crecimiento en las condiciones de 10-15 °C y 50-55 % HR, independientemente de la posición de la charola y la presencia de papel filtro.

Tabla 4.15 Análisis descriptivo para germinados de frijol.

Experimento	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Papel filtro	Charola	Tratamientos Nomenclatura	Longitud máxima de crecimiento (mm)	Pendiente (mm/d)	Coefficiente de Regresión Lineal R ²
Experimento 1	10-15	50-55	SI	Superior	FSF.1	0.0000	0.0000	-
				Inferior	FIF.1	0.0000	0.0000	-
			NO	Superior	FSN.1	0.0000	0.0000	-
				Inferior	FIN.1	0.0000	0.0000	-
Experimento 2	15-20	60-65	SI	Superior	FSF.2	17.0000	2.4899	0.9182
				Inferior	FIF.2	8.3333	1.2342	0.8440
			NO	Superior	FSN.2	11.0000	1.6216	0.8766
				Inferior	FIN.2	24.5000	3.6042	0.8905
Experimento 3	15-20	80-85	SI	Superior	FSF.3	167.7778	14.5090	0.9973
				Inferior	FIF.3	49.7778	3.5345	0.9842
			NO	Superior	FSN.3	63.5556	5.1667	0.9997
				Inferior	FIN.3	50.7143	2.9395	0.9285
Experimento 4	20-25	65-70	SI	Superior	FSF.4	131.1111	15.1706	0.9813
				Inferior	FIF.4	90.7778	10.4099	0.9885
			NO	Superior	FSN.4	58.0000	8.1532	0.9626
				Inferior	FIN.4	86.6667	8.6712	0.9992
Experimento 5	25-30	70-75	SI	Superior	FSF.5	67.2222	5.7143	0.9800
				Inferior	FIF.5	16.7143	0.6073	0.6401
			NO	Superior	FSN.5	28.6000	2.0466	0.9996
				Inferior	FIN.5	24.0000	0.7883	0.9036
Experimento 6	25-30	85-90	SI	Superior	FSF.6	253.3333	26.2913	0.9978
				Inferior	FIF.6	134.4444	14.7523	0.9999
			NO	Superior	FSN.6	132.7778	13.7898	0.9818
				Inferior	FIN.6	141.6667	15.2613	0.9857

4.4.1.1.3 Comparación de los germinados

Se compararon los valores de longitud y velocidad de crecimiento de ambos germinados, dividiendo los valores correspondientes y promediándolos en caso de tener los valores, los resultados se presentan en la Tabla 4.16. La semilla de frijol crece más y más rápido que la alfalfa, en promedio tuvo una longitud de crecimiento 4.6 veces mayor y una velocidad de crecimiento 6.6 veces mayor; para el crecimiento de los germinados de ambas semillas, la temperatura y humedad tienen efecto significativo tanto para la longitud como para la velocidad de crecimiento, siendo las mejores condiciones de crecimiento 25-30 °C y 85-90 % H, con papel filtro y en la charola superior.

Tabla 4.16 Comparación de los germinados de alfalfa y frijol.

Experimento	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Papel filtro	Posición de las charolas	ALFALFA		FRIJOL		RELACIÓN		
					Longitud máxima de crecimiento 14 días (mm)	Velocidad de Crecimiento, Pendiente (mm/d)	Longitud máxima de crecimiento 14 días (mm)	Velocidad de Crecimiento, Pendiente (mm/d)	Longitud de Crecimiento Frijol/Alfalfa	Velocidad de Crecimiento Frijol/Alfalfa	
Experimento 1	10-15	50-55	SI	Superior	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-	-	
				Inferior	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-	-	
			NO	Superior	-	-	0.0000	0.0000	-	-	
				Inferior	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-	-	
Experimento 2	15-20	60-65	SI	Superior	1.7778	0.2643	17.0000	2.4899	9.5625	9.4219	
				Inferior	9.5000	1.4135	8.3333	1.2342	0.8772	0.8732	
			NO	Superior	-	-	11.0000	1.6216	-	-	
				Inferior	3.4000	0.4946	24.5000	3.6042	7.2059	7.2873	
Experimento 3	15-20	80-85	SI	Superior	40.5556	1.5045	167.7778	14.5090	4.1370	9.6437	
				Inferior	29.6667	1.0916	49.7778	3.5345	1.6779	3.2380	
			NO	Superior	-	-	63.5556	5.1667	-	-	
				Inferior	24.3333	0.6381	50.7143	2.9395	2.0841	4.6064	
Experimento 4	20-25	65-70	SI	Superior	12.7778	1.3859	131.1111	15.1706	10.2609	10.9465	
				Inferior	13.8889	0.9670	90.7778	10.4099	6.5360	10.7655	
			NO	Superior	-	-	58.0000	8.1532	-	-	
				Inferior	15.3333	1.6126	86.6667	8.6712	5.6522	5.3771	
Experimento 5	25-30	70-75	SI	Superior	12.5556	0.0000	67.2222	5.7143	5.3540	-	
				Inferior	7.2500	0.0000	16.7143	0.6073	2.3054	-	
			NO	Superior	-	-	28.6000	2.0466	-	-	
				Inferior	4.8889	0.0000	24.0000	0.7883	4.9091	-	
Experimento 6	25-30	85-90	SI	Superior	79.8889	6.9940	253.3333	26.2913	3.1711	3.7591	
				Inferior	73.0000	3.6171	134.4444	14.7523	1.8417	4.0785	
			NO	Superior	-	-	132.7778	13.7898	-	-	
				Inferior	33.8889	1.6742	141.6667	15.2613	4.1803	9.1157	
									PROMEDIO	4.6504	6.5927

4.4.1.2 Medidas de tendencia central

4.4.1.2.1 Germinados de alfalfa

La Tabla 4.17 presenta las medidas de tendencia central de la longitud de crecimiento y en la Tabla 4.18 las correspondientes a la velocidad de crecimiento, que se calcularon para todos los tratamientos realizados con semillas de alfalfa. Se ordenaron de menor a mayor, destacan el promedio, el error y la desviación estándar.

Tabla 4.17 Medidas de tendencia central para la longitud de crecimiento de los germinados de alfalfa.

Tratamiento	Longitud de crecimiento de germinados de alfalfa (mm)								
	Promedio	Error Estándar	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Varianza	Rango	Máximo	Mínimo
AIN1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
AIF1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
ASF1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
ASF2	1.7780	0.2780	2	1	0.8330	0.6940	2	3	1
AIN2	3.4000	1.0300	3	-	2.3020	5.3000	6	7	1
AIN5	4.8890	0.6960	5	3	2.0880	4.3610	6	9	3
AIF5	7.2500	1.0480	6	10	2.9640	8.7860	8	12	4
AIF2	9.5000	2.1210	10	3	6.0000	36.0000	15	18	3
ASF5	12.5560	1.5190	13	18	4.5580	20.7780	13	18	5
ASF4	12.7780	0.9830	12	16	2.9490	8.6940	7	16	9
AIF4	13.8890	1.1110	15	15	3.3330	11.1110	10	20	10
AIN4	15.3330	1.0540	15	15	2.5820	6.6670	8	20	12
AIN3	24.3330	0.6870	24	24	2.0620	4.2500	7	27	20
AIF3	29.6670	1.4430	30	30	4.3300	18.7500	12	36	24
AIN6	33.8890	1.7200	31	30	5.1590	26.6110	12	42	30
ASF3	40.5560	2.0690	40	40	6.2070	38.5280	18	50	32
AIF6	73.0000	4.7520	75	-	14.2570	203.2500	40	95	55
ASF6	79.8890	4.7180	86	88	14.1550	200.3610	45	100	55

Tabla 4.18 Medidas de tendencia central para la velocidad de crecimiento de los germinados de alfalfa.

Tratamiento	Velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa (mm/d)								
	Promedio	Error Estándar	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Varianza	Rango	Máximo	Mínimo
AIN1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AIN5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AIF1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AIF5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ASF1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ASF5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ASF2	0.2643	0.0413	0.2973	0.1486	0.1239	0.0153	0.2973	0.4459	0.1486
AIN2	0.4946	0.1482	0.4324	-	0.3314	0.1098	0.8649	1.0135	0.1486
AIN3	0.6381	0.1326	0.5676	0.5676	0.3977	0.1582	1.3243	1.6081	0.2838
AIF4	1.0045	0.2410	0.8986	-	0.5903	0.3484	1.4324	1.7162	0.2838
AIF3	1.0916	0.2927	0.7162	0.5676	0.8781	0.7710	2.3378	2.4730	0.1351
ASF3	1.5045	0.1701	1.4324	-	0.5102	0.2603	1.4189	2.4054	0.9865
AIN4	1.6126	0.1555	1.7838	-	0.3809	0.1451	0.9595	1.9459	0.9865
ASF4	1.6557	0.1434	1.7162	2.0000	0.4301	0.1850	1.3333	2.0000	0.6667
AIN6	1.6742	0.4764	1.3514	-	1.4292	2.0427	4.7973	4.7297	0.0000
AIF2	1.9405	0.2309	2.0541	-	0.5164	0.2667	1.3108	2.6081	1.2973
AIF6	3.6171	0.8034	3.0000	-	2.4102	5.8088	7.0000	8.1081	1.1081
ASF6	6.9940	0.7928	7.8649	-	2.3785	5.6571	6.2568	9.7703	3.5135

4.4.1.2.2 Germinados de frijol

En el caso de los germinados de frijol, las Tablas 4.19 y 4.20 muestran las medidas de tendencia central de la longitud de crecimiento y de la velocidad de crecimiento, respectivamente, que se calcularon para todos los tratamientos realizados, se ordenaron de menor a mayor. Estas medidas son esenciales en el análisis estadístico.

Tabla 4.19 Medidas de tendencia central para la longitud de crecimiento de los germinados de frijol.

Tratamiento	Longitud de crecimiento de germinados de frijol (mm)								
	Media	Error Estándar	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Varianza	Rango	Máximo	Mínimo
FIN1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
FIF1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
FSN1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
FSF1	0.0000	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0
FIF2	8.3333	2.0276	8	-	3.5119	12.3333	7	12	5
FSN2	11.0000	1.0000	11	-	1.4142	2.0000	2	12	10
FIF5	16.7143	4.3791	13	-	11.5861	134.2381	34	42	8
FSF2	17.0000	2.0412	16	-	4.0825	16.6667	9	23	14
FIN5	24.0000	4.0208	24	-	8.0416	64.6667	18	33	15
FIN2	24.5000	4.7660	21	20	13.4801	181.7143	46	56	10
FSN5	28.6000	5.2211	27	-	11.6748	136.3000	29	45	16
FIF3	49.7778	3.4552	50	50	10.3655	107.4444	32	67	35
FIN3	50.7143	5.2541	50	-	13.9010	193.2381	38	75	37
FSN4	58.0000	10.1091	50	50	30.3274	919.7500	88	110	22
FSN3	63.5556	7.9846	55	55	23.9537	573.7778	73	110	37
FSF5	67.2222	13.2317	70	-	39.6950	1575.6944	120	140	20
FIN4	86.6667	5.5277	80	70	16.5831	275.0000	40	110	70
FIF4	90.7778	7.0942	90	90	21.2825	452.9444	73	140	67
FSF4	131.1111	8.0699	120	110	24.2097	586.1111	60	170	110
FSN6	132.7778	10.3115	130	100	30.9345	956.9444	90	190	100
FIF6	134.4444	22.2898	110	220	66.8695	4471.5278	160	220	60
FIN6	141.6667	16.2447	140	140	48.7340	2375.0000	160	220	60
FSF3	167.7778	13.5173	170	150	40.5518	1644.4444	130	220	90
FSF6	253.3333	15.3659	260	260	46.0977	2125.0000	140	320	180

Tabla 4.20 Medidas de tendencia central para la velocidad de crecimiento de los germinados de frijol.

Tratamiento	Velocidad de crecimiento de germinados de frijol (mm/d)								
	Media	Error Estándar	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Varianza	Rango	Máximo	Mínimo
FIN1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FIF1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FSN1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FSF1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FIN5	1.0045	0.3814	1.1486	-	0.6606	0.4363	1.2973	1.5811	0.2838
FIF5	1.0108	0.3534	0.7027	-	0.7902	0.6244	1.9459	2.3784	0.4324
FSN5	1.4561	0.5054	1.4257	-	1.0109	1.0218	2.4054	2.6892	0.2838
FIF2	1.4595	0.3108	1.4595	-	0.4396	0.1932	0.6216	1.7703	1.1486
FSN2	1.6216	0.1351	1.6216	-	0.1911	0.0365	0.2703	1.7568	1.4865
FIN3	2.3716	0.4657	2.0743	-	1.1408	1.3015	3.3784	4.3514	0.9730
FSF2	2.4899	0.3030	2.2770	-	0.6060	0.3672	1.3514	3.3784	2.0270
FIF3	3.5345	0.6359	3.6486	-	1.9078	3.6396	4.6351	6.0811	1.4459
FIN2	3.8842	0.7460	3.1081	-	1.9737	3.8957	5.4459	8.3108	2.8649
FSN3	5.1667	1.0777	4.9730	-	3.2330	10.4524	10.9324	11.8243	0.8919
FSF5	6.5709	2.0919	3.5270	-	5.9168	35.0081	16.4730	16.8919	0.4189
FSN4	8.1532	1.4471	7.0270	-	4.3413	18.8470	12.7703	15.8108	3.0405
FIN4	8.6712	1.2274	10.8784	-	3.6821	13.5580	9.7973	12.3649	2.5676
FIF4	10.4099	1.0504	9.8649	-	3.1511	9.9294	9.3919	15.9459	6.5541
FSN6	13.7898	1.4476	13.6486	-	4.3429	18.8612	12.9730	20.0000	7.0270
FSF4	14.0055	2.0556	13.8514	-	6.1668	38.0299	19.8829	23.2162	3.3333
FSF3	14.5090	1.7848	14.7297	-	5.3545	28.6710	18.1757	23.1757	5.0000
FIF6	14.7523	3.3904	10.6757	-	10.1711	103.4515	25.7432	29.3919	3.6486
FIN6	15.2613	2.2727	16.7568	16.7568	6.8181	46.4867	23.2432	25.8784	2.6351
FSF6	26.2913	2.0174	25.4730	-	6.0522	36.6297	20.5405	38.7162	18.1757

4.4.1.3 Gráficas de medias

Las gráficas de medias permiten observar la normalidad de los datos, su distribución y su dispersión, la información que proporciona cada gráfico es:

- Dot Plot. El dot plot, gráfico de puntos o diagrama de puntos es un gráfico similar a un histograma que permite ver la dispersión de los datos comparando su distribución de la frecuencia.
- Box Plot. El box plot o diagrama de caja, Figura 4.30, sirve para describir el comportamiento de los datos, permitiendo comparar los tratamientos; se basa en cuartiles, es decir que divide el rango de variación de los datos en cuatro grupos, cada uno conteniendo 25 % de las mediciones. El 25 % contiene los datos menores, 25 % los datos mayores y 50 % en los datos centrales. También se pueden observar los datos atípicos y la media aritmética.

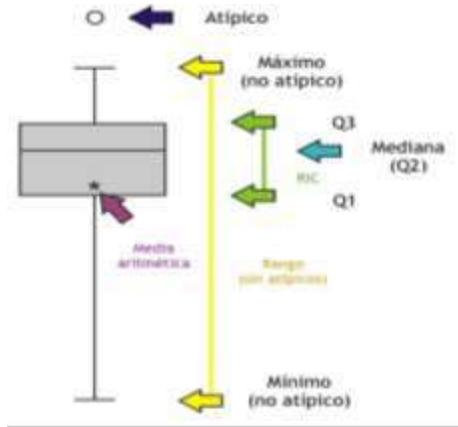


Figura 4.30 Elementos del gráfico Box Plot o diagrama de cajas.

- QQ Plot. En los gráficos cuartil-cuartil la distribución normal es simétrica, no tiene sesgo por lo que los datos distribuidos normalmente aparecen como una línea recta.

4.4.1.3.1 Germinados de alfalfa

La Figura 4.31 muestra los gráficos dot plot y box plot en los que se observa la distribución de los datos en cada tratamiento y comparados entre ellos; en los dot plot se observan los tratamientos que pueden tener diferencia significativa porque están más separados, como son los tratamientos AIF6 y ASF6 para el caso de las dos respuestas, longitud y velocidad de crecimiento. Los gráficos box plot de alfalfa indican valores atípicos en la velocidad de crecimiento y de igual manera, se separan de los demás tratamientos, AIF6 y ASF6. Las Figuras 4.32 y 4.33 lo gráficos QQ plot de longitud y velocidad de crecimiento, respectivamente, evidencian la distribución normal por las líneas rectas obtenidas.

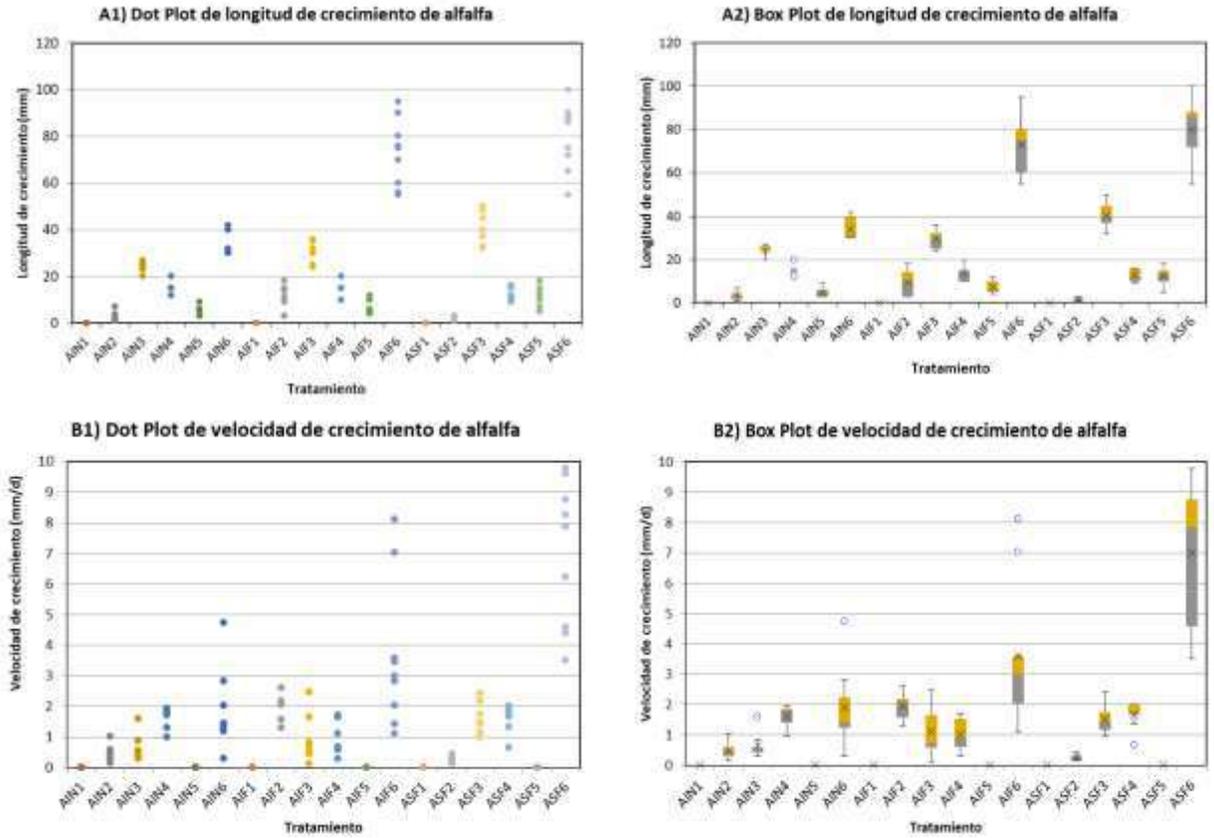


Figura 4.31 Dot Plot y Box Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.

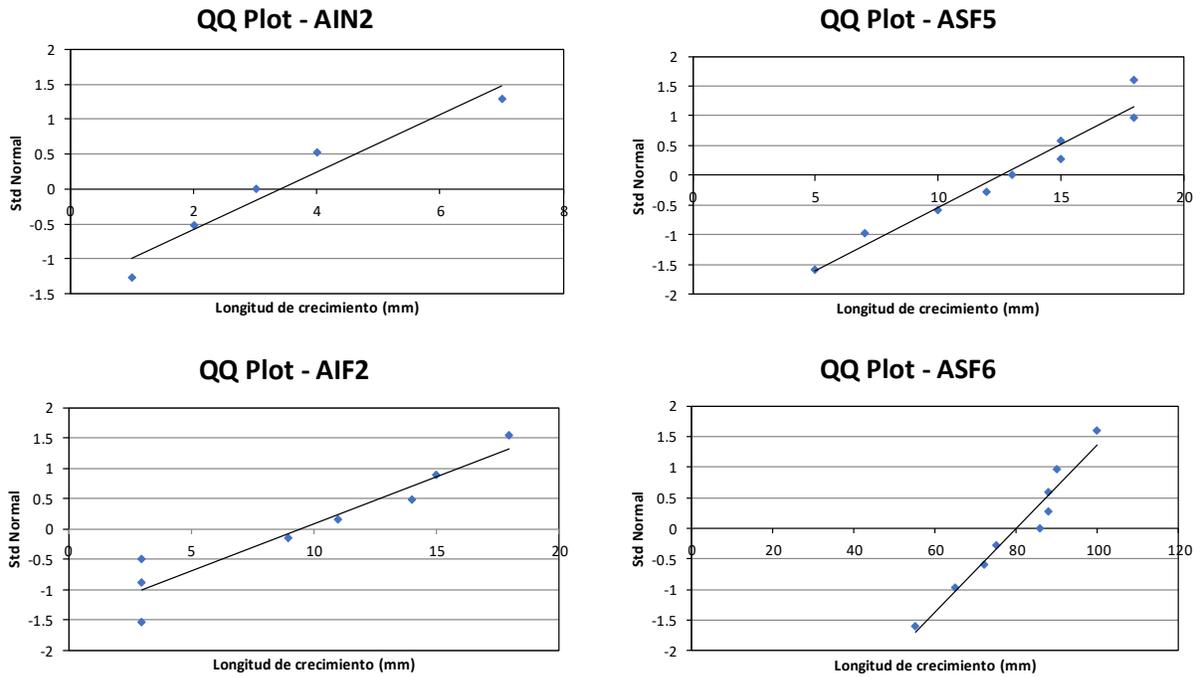


Figura 4.32 QQ Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.

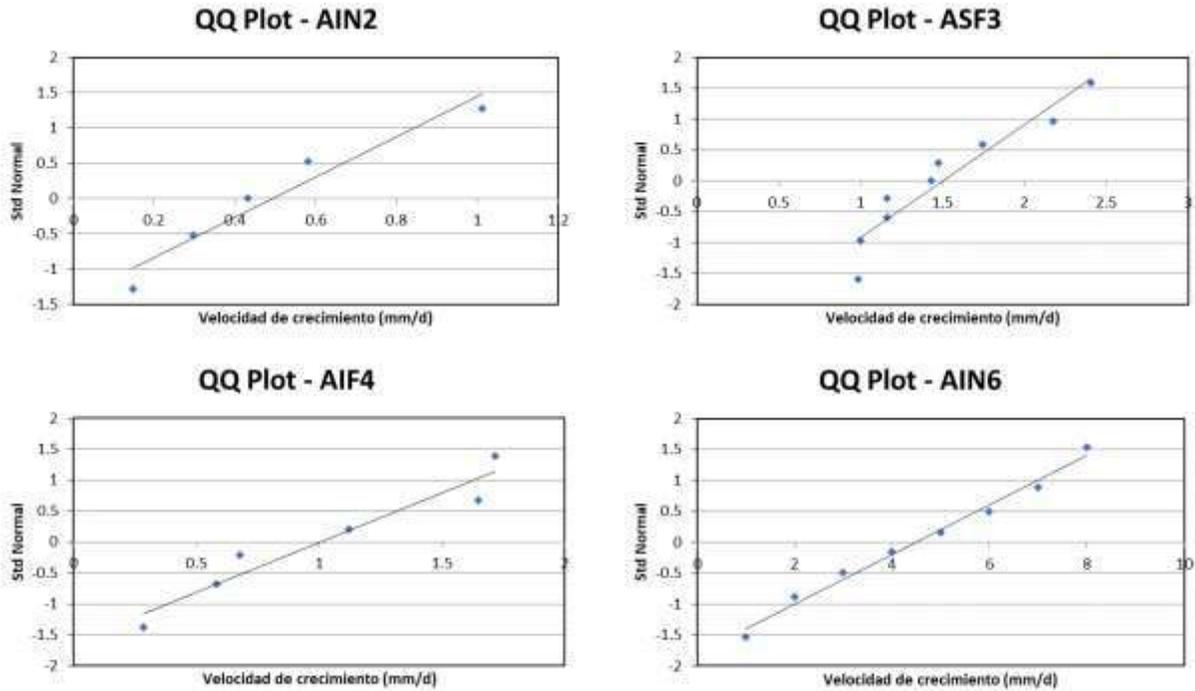


Figura 4.33 QQ Plot de medias de velocidad de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.

4.4.1.3.2 Germinados de frijol

La Figura 4.34 para el crecimiento del frijol, los gráficos dot plot y box plot muestran mayor dispersión y valores atípicos sobre todo en la velocidad de crecimiento, fue en el tratamiento FSF6 en el que se observan valores mayores de longitud de crecimiento, pero no los valores de la velocidad donde se tienen distribuciones similares en varios tratamientos. En la Figura 4.35 y 4.36 se observan los datos distribuidos normalmente por las líneas rectas obtenidas en los gráficos QQ plot de longitud y velocidad de crecimiento, respectivamente.

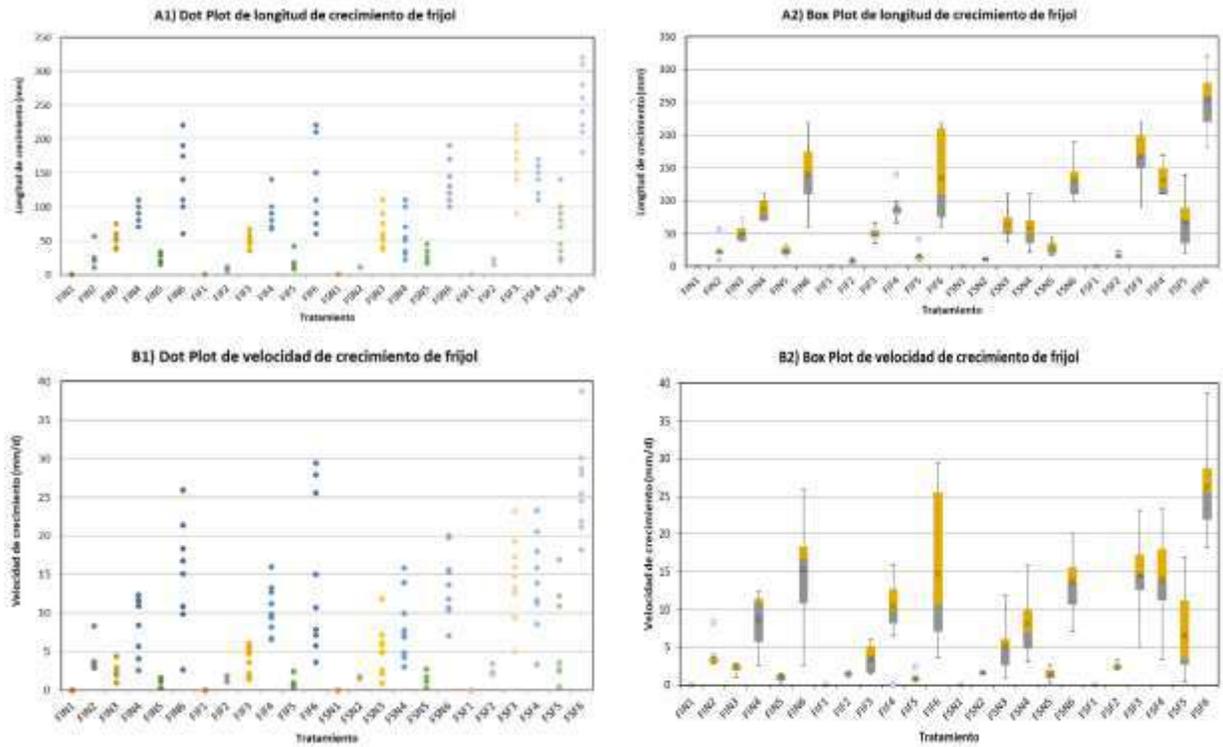


Figura 4.34 Dot Plot y Box Plot de medias de longitud de crecimiento de alfalfa para los tratamientos.

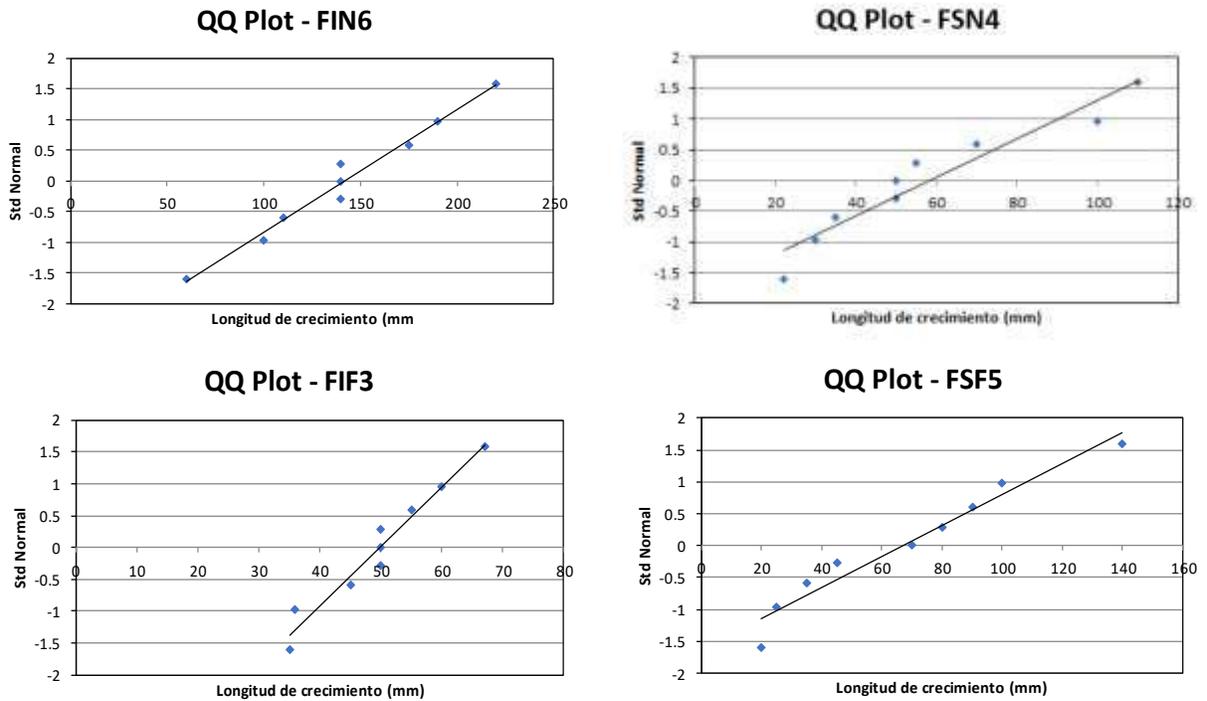


Figura 4.35 QQ Plot de medias de longitud de crecimiento de frijol para todos los tratamientos.

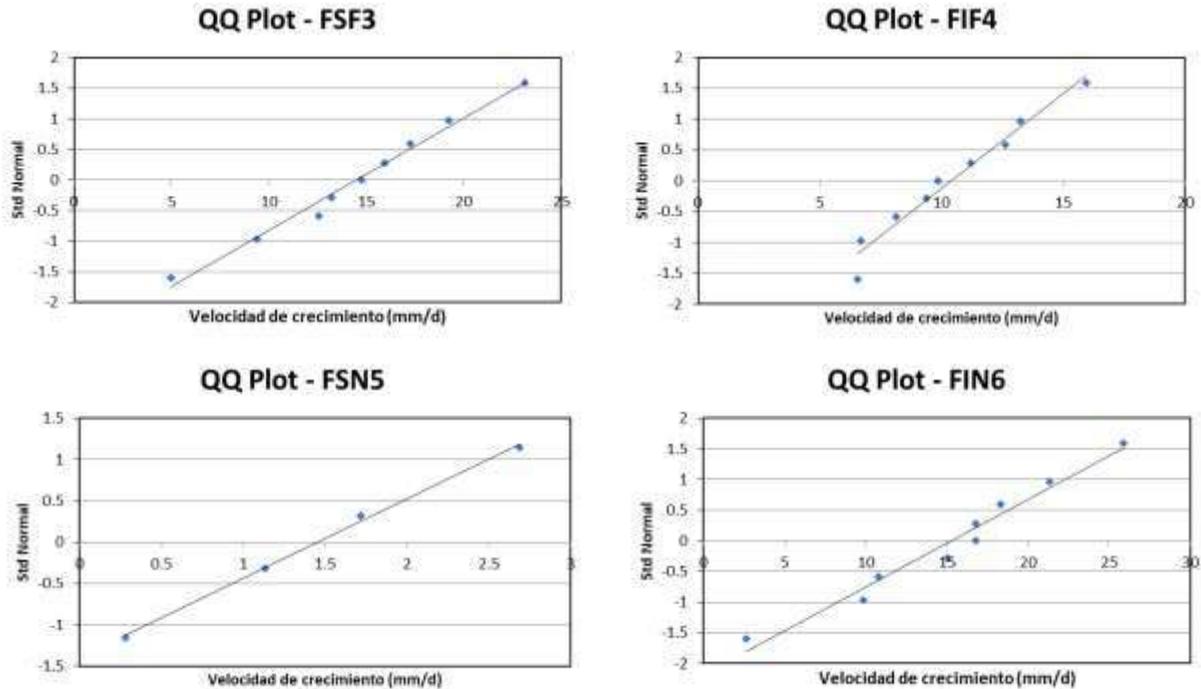


Figura 4.36 QQ Plot de medias de velocidad de crecimiento de frijol para todos los tratamientos.

4.4.1.4 Verificación de los supuestos de modelo

Se llevaron a cabo los tests de Shapiro Wilk, d'Agostino-Pearson, Grubbs y Levene para determinar si cumplen con los supuestos del modelo y posteriormente realizar el análisis de varianza aleatorio con el fin de comparar los tratamientos teniendo como respuesta la longitud máxima y la velocidad de crecimiento. Las pruebas de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson indican si los datos provienen de poblaciones con distribución normal, la prueba de Grubbs determina la presencia de datos atípicos y la prueba de Levene la igualdad de varianzas entre grupos. Es un análisis que complementa las gráficas de medias.

4.4.1.4.1 Germinados de alfalfa

En la Tabla 4.21 se observan los resultados las pruebas de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson para las dos respuestas analizadas del crecimiento de alfalfa, en la mayoría de los tratamientos, donde fue posible hacer el cálculo, la distribución es normal confirmando los resultados obtenidos en los gráficos de QQ-plot. Por otra parte, la Tabla 4.22 muestra las pruebas de Levene y la Tabla 4.23 las pruebas de Grubb que se realizaron para todos los tratamientos para ambas respuestas de longitud y velocidad de crecimiento; el test de Levene, indicó que si hubo diferencia indicando que no hay igualdad de varianzas para ambas respuestas. En el caso de la prueba de Grubb no hubo presencia de datos atípicos para longitud, pero si para velocidad de crecimiento, dado que si hay diferencia significativa para esta última respuesta.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se continua con el Análisis de Varianza (ANOVA) del crecimiento de la alfalfa, para determinar si hay diferencia significativa entre los grupos sin identificar cuáles son iguales o diferentes.

Tabla 4.21 Test de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson para poblaciones con distribución normal para alfalfa.

Tratamiento	Longitud de crecimiento de alfalfa (mm)					Velocidad de crecimiento de alfalfa (mm/d)				
	Promedio (mm)	Shapiro-Wilk, $\alpha=0.05$		d'Agostino-Pearson, $\alpha=0.05$		Promedio, (mm/d)	Shapiro-Wilk, $\alpha=0.05$		d'Agostino-Pearson, $\alpha=0.05$	
		P-valor	Normal	P-valor	Normal		P-valor	Normal	P-valor	Normal
AIN1	0.0000	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-
AIF1	0.0000	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-
ASF1	0.0000	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-
ASF2	1.7778	0.0254	no	0.473	si	0.000	-	-	-	-
AIN2	3.4000	0.6852	si	-	-	0.000	-	-	-	-
AIN5	4.8889	0.0459	no	0.475	si	0.000	-	-	-	-
AIF5	7.2500	0.1375	si	0.413	si	0.264	0.025	no	0.473	si
AIF2	9.5000	0.1979	si	0.367	si	0.495	0.682	si	-	-
ASF5	12.5556	0.5755	si	0.718	si	0.638	0.004	no	0.001	no
ASF4	12.7778	0.0552	si	0.085	si	1.005	0.446	si	-	-
AIF4	13.8889	0.0284	no	0.924	si	1.092	0.047	no	0.388	si
AIN4	15.3333	0.0516	si	-	-	1.505	0.198	si	0.477	si
AIN3	24.3333	0.3711	si	0.170	si	1.613	0.151	si	-	-
AIF3	29.6667	0.3276	si	0.661	si	1.656	0.018	no	0.009	no
AIN6	33.8889	0.0033	no	0.219	si	1.674	0.259	si	0.095	si
ASF3	40.5556	0.6102	si	0.804	si	1.941	0.885	si	-	-
AIF6	73.0000	0.5874	si	0.715	si	3.617	0.086	si	0.260	si
ASF6	79.8889	0.6803	si	0.765	si	6.994	0.271	si	0.291	si

Tabla 4.22 Pruebas de Levene para igualdad de varianza de los tratamientos de alfalfa.

Prueba de Levene	Longitud de crecimiento de frijol	Velocidad de crecimiento de frijol
Tipo	p-valor	p-valor
Media	0	0
Mediana	1.25E-10	2.87E-10
Media recortada	0	0

Tabla 4.23 Pruebas de Grubbs para datos atípicos en los tratamientos de alfalfa.

Prueba de Grubbs	Longitud de crecimiento de frijol	Velocidad de crecimiento de frijol
Alfa	0.05	0.05
Atípico	100	9.7703
G	3.2622	4.2868
G-crit	3.3491	3.3365
Significativo	No	Si

4.4.1.4.2 Germinados de frijol

En lo que respecta al crecimiento de frijol, las pruebas de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson se reportan en la Tabla 4.24 para las dos respuestas analizadas, en la mayoría de los tratamientos, donde fue posible hacer el cálculo, la distribución es normal confirmando los resultados obtenidos en los gráficos de QQ-plot. La Tabla 4.25 muestra los resultados de la prueba de Levene, si hubo diferencia significativa indicando que no hay igualdad de varianzas para ambas respuestas. La prueba de Grubb, Tabla 4.26, muestra que hubo presencia de datos atípicos para ambas respuestas dado que si hubo diferencia significativa.

De igual manera que para alfalfa, se continua con el Análisis de Varianza (ANOVA) del crecimiento de la alfalfa, para determinar si hay diferencia significativa entre los grupos sin identificar cuáles son iguales o diferentes.

Tabla 4.24 Test de Shapiro-Wilks y d'Agostino-Pearson para poblaciones con distribución normal para frijol.

Tratamiento	Longitud de crecimiento de frijol (mm)					Velocidad de crecimiento de frijol (mm/d)				
	Promedio (mm)	Shapiro-Wilk, $\alpha=0.05$		d'Agostino-Pearson, $\alpha=0.05$		Promedio, (mm/d)	Shapiro-Wilk, $\alpha=0.05$		d'Agostino-Pearson, $\alpha=0.05$	
		P-valor	Normal	P-valor	Normal		P-valor	Normal	P-valor	Normal
FIN1	0.0000	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-
FIF1	0.0000	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-
FSN1	0.0000	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-
FSF1	0.0000	-	-	-	-	0.0000	-	-	-	-
FIF2	8.3333	0.8428	si	-	-	1.0045	0.6369	si	-	-
FSN2	11.0000	-	-	-	-	1.0108	0.0498	no	-	-
FIF5	16.7143	0.0046	no	-	-	1.4561	0.9987	si	-	-
FSF2	17.0000	0.1155	si	-	-	1.4595	-	-	-	-
FIN5	24.0000	0.8356	si	-	-	1.6216	-	-	-	-
FIN2	24.5000	0.0029	no	0.0006	no	2.3716	0.5384	si	-	-
FSN5	28.6000	0.8184	si	-	-	2.4899	0.1376	si	-	-
FIF3	49.7778	0.7090	si	0.9958	si	3.5345	0.1081	si	0.1206	si
FIN3	50.7143	0.3879	si	-	-	3.8842	0.0002	no	-	-
FSN4	58.0000	0.3295	si	0.5383	si	5.1667	0.5368	si	0.2628	si
FSN3	63.5556	0.3131	si	0.3472	si	6.5709	0.1104	si	0.4692	si
FSF5	67.2222	0.6440	si	0.7406	si	8.1532	0.3624	si	0.5175	si
FIN4	86.6667	0.0883	si	0.3458	si	8.6712	0.0943	si	0.3807	si
FIF4	90.7778	0.0394	no	0.0098	no	10.4099	0.7610	si	0.7988	si
FSF4	131.1111	0.0425	no	0.3152	si	13.7898	0.7225	si	0.9006	si
FSN6	132.7778	0.3315	si	0.4832	si	14.0055	0.9948	si	0.9606	si
FIF6	134.4444	0.0625	si	0.1669	si	14.5090	0.9985	si	0.8601	si
FIN6	141.6667	0.9476	si	0.9974	si	14.7523	0.0900	si	0.2458	si
FSF3	167.7778	0.7263	si	0.6383	si	15.2613	0.9417	si	0.7316	si
FSF6	253.3333	0.9216	si	0.9017	si	26.2913	0.6718	si	0.2661	si

Tabla 4.25 Pruebas de Levene para los tratamientos de frijol.

Prueba de Levene	Longitud de crecimiento de frijol	Velocidad de crecimiento de frijol
Tipo	p-valor	p-valor
Media	1.11E-16	6.44E-15
Mediana	8.33E-11	6.83E-08
Media recortada	1.11E-16	6.44E-15

Tabla 4.26 Pruebas de Grubbs para los tratamientos de frijol.

Prueba de Grubbs	Longitud de crecimiento de frijol	Velocidad de crecimiento de frijol
Alfa	0.05	0.05
Atípico	320	38.7162
G	3.4363	3.8283
G-crit	3.4068	3.3931
Significativo	Si	Si

4.4.2 Análisis de Varianza

Se realizó el análisis de varianza de una vía y de dos vías. El ANOVA de una Vía en un Diseño Completamente al Azar (DCA) compara los tratamientos para el crecimiento de los germinados y determina si hay diferencia significativa entre ellos sin señalar cual es el mejor. El ANOVA de dos vías separa la fuente de variación de tratamientos y posición de las charolas. De esta forma al encontrar diferencia significativa, se procede a efectuar las Pruebas de Rango Múltiple, estas determinan entre cuáles tratamientos hay diferencia significativa y cuál o cuáles tratamientos son los mejores para el crecimiento de los germinados.

4.4.2.1 Germinados de alfalfa

Tanto para la respuesta de longitud como para la velocidad de crecimiento, en las Tablas 4.27 y 4.28 se ven los resultados del ANOVA de una vía para la alfalfa con un $P_{valor} < \alpha = 0.05$ por lo que se concluye que hay diferencia significativa entre los grupos para ambas respuestas por lo que se procedió a realizar las Pruebas de Rango Múltiple.

Por otro lado, en las Tablas 4.29 y 4.30 se observan los resultados del ANOVA de dos vías para longitud y velocidad de crecimiento respectivamente, los valores de $P_{valor} > \alpha = 0.05$, indican que no hay diferencia significativa para los tratamientos y para la posición de la charola. Este resultado es muy importante porque indica que los cultivos crecen de misma manera en cualquier posición.

Tabla 4.27 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de alfalfa, respuesta: longitud máxima de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	84841.7706	17	4990.6924	144.3588	1.0190E-77	Si
Error	4667.1444	135	34.5714			
Total	89508.9150	152	588.8744			

Tabla 4.28 ANOVA de una vía para un diseño aleatorio de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	454.2318	17	26.7195	28.5607	1.9863E-35	Si
Error	119.7485	128	0.9355			
Total	573.9803	145	3.9585			

Tabla 4.29 ANOVA de dos vías para alfalfa, respuesta: longitud máxima de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	3125.5161	4	781.3790	5.8238	0.0581	No
Posición	264.8255	1	264.8255	1.9738	0.2327	No
Error	536.6716	4	134.1679			
Total	3927.0133	9	436.3348			

Tabla 4.30 ANOVA de dos vías para los los tratamientos de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	7.3974	4	1.8493	3.8768	0.1088	No
Posición	0.7127	1	0.7127	1.4940	0.2886	No
Error	1.9081	4	0.4770			
Total	10.0182	9	1.1131			

4.4.2.2 Germinados de frijol

En cuanto al crecimiento del frijol, las Tablas 4.31 y 4.32 presentan los resultados del ANOVA de una vía para ambas respuestas, con un $P_{valor} < \alpha = 0.05$ que indica diferencia significativa entre los grupos tanto para longitud de crecimiento como para su velocidad, por lo que se procedió a realizar las Pruebas de Rango Múltiple.

En lo que concierne al ANOVA de dos vías, Tablas 4.33 y 4.34, los valores fueron de $P_{valor} > \alpha = 0.05$ para ambas respuestas, lo que significa que hay diferencia significativa para los tratamientos, pero no para la posición de la charola. Al igual que para la alfalfa, este resultado indica que los cultivos crecen de misma manera en cualquier posición, excluida la posición, ahora es posible ordenar los tratamientos para analizarlos como un diseño factorial 2^k.

Tabla 4.31 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de frijol, respuesta: longitud máxima de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	813552.7738	23	35371.8597	42.6933	1.8175E-56	Si
Error	132561.8349	160	828.5115			
Total	946114.6087	183	5170.0252			

Tabla 4.32 ANOVA de una vía para el diseño aleatorio de frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamientos	8661.20035	23	376.573928	19.6620293	1.4136E-34	Si
Error	2911.15613	152	19.152343			

Total	11572.3565	175	66.1277513
-------	------------	-----	------------

Tabla 4.33 ANOVA de dos vías para frijol, respuesta: longitud máxima de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamiento	28806.2270	4	7201.5567	64.3921	4.0182E-06	Si
Posición	128.2370	2	64.1185	0.5733	0.5852175	No
Error	894.7126	8	111.8391			
Total	29829.1766	14	2130.6555			

Tabla 4.34 ANOVA de dos vías para frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
Tratamiento	378.4292	4	94.6073	68.9422	3.0872E-06	Si
Posición	0.0548	2	0.0274	0.0200	0.9802	No
Error	10.9782	8	1.3723			
Total	389.4621	14	27.8187			

4.4.3 Pruebas de Rango Múltiple

Dado que hubo diferencia significativa entre los tratamientos según los resultados del ANOVA de una vía para las dos respuestas (longitud y velocidad de crecimiento), se procedió a realizar las Pruebas de Rango Múltiple para organizarlos en grupos según la comparación de los tratamientos y determinar entre cuales no hay diferencia significativa (mismo grupo) y entre cuales si (grupos diferentes). El mejor análisis es el que da el mayor número de grupos, en las figuras se muestran dos formas de organizar los grupos conforme a:

- Cuando dos tratamientos tienen la misma letra significa que no hay diferencia significativa y pertenecen al mismo grupo.
- Las líneas gruesas con inicio y final punteado indican un mismo grupo ya que no hay diferencia significativa.

4.4.3.1 Germinados de alfalfa

Se realizaron las pruebas de Rango Múltiple de Tukey y Duncan para comparar las medias de todos los tratamientos, Figura 4.37 y 4.38 para la respuesta de longitud de crecimiento. La Prueba de Duncan es más exigente que la Prueba de Tukey, esta última dio 6 grupos, indicando que los tratamientos AIF6 y ASF6, donde se obtuvo mayor crecimiento, son iguales porque no hay diferencia significativa. La prueba Duncan arrojó como resultados 9 grupos, el mejor y único tratamiento fue ASF6 seguido de AIF6 y ASF3 que también son individuales; entre todos estos tratamientos si hubo diferencia significativa. La prueba Duncan es la más utilizada, porque usa diferentes rangos para cada comparación, dependiendo del espaciamiento entre las medias a comparar, también es la más exigente porque se utilizan valores de Q más pequeños, lo cuales se obtienen de la tabla de Duncan para cada una de las comparaciones. La mejor prueba es la que da mayor número de grupos, en este caso la Prueba Duncan; se debe notar que algunos tratamientos se superponen en ambas pruebas. Es de notar que los tratamientos donde se obtienen valores menores de 10 mm, de manera general, pertenecen a un mismo grupo, es decir que no hay diferencia significativa.

En lo que concierne a la velocidad de crecimiento, Figura 4.39 y 4.40, la prueba de Tukey dio 4 grupos y la prueba de Duncan, 6. El único y mejor tratamiento fue el ASF6 en ambas pruebas y se clasificó en un solo grupo. También se debe señalar que en los tratamientos en donde las velocidades son muy bajas, de 0-2 mm/d, de manera general, no hay diferencia significativa.

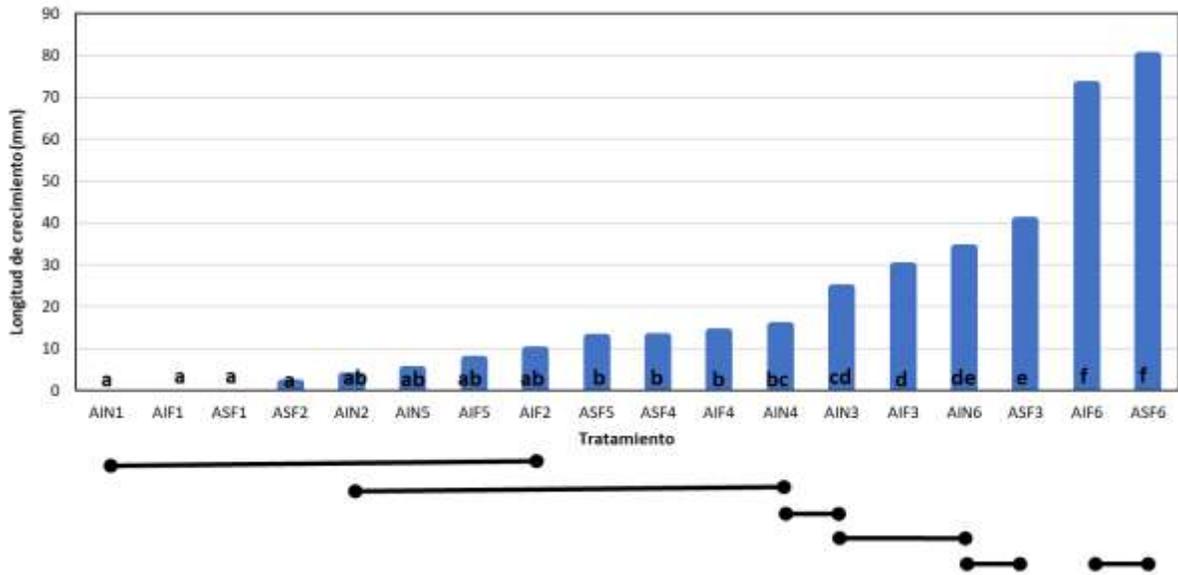


Figura 4.37 Prueba Tukey de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.

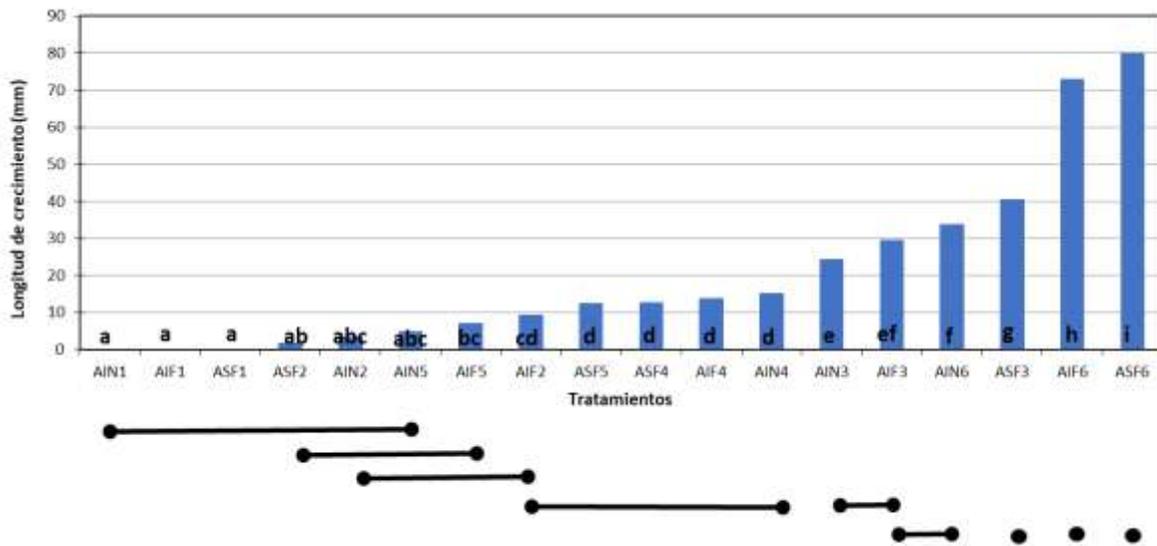


Figura 4.38 Prueba Duncan de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.

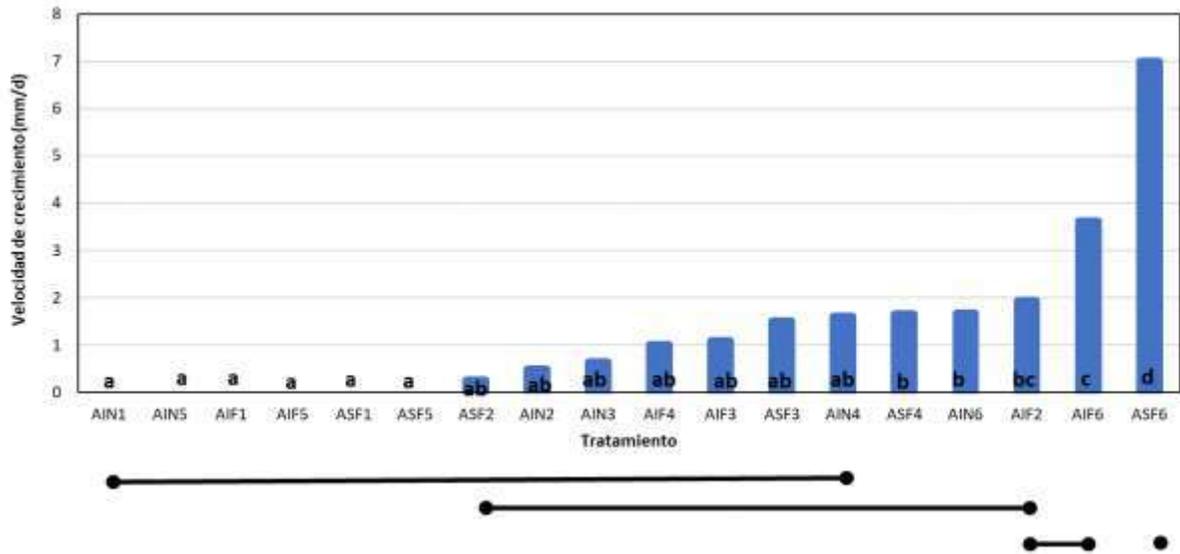


Figura 4.39 Prueba Tukey de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.

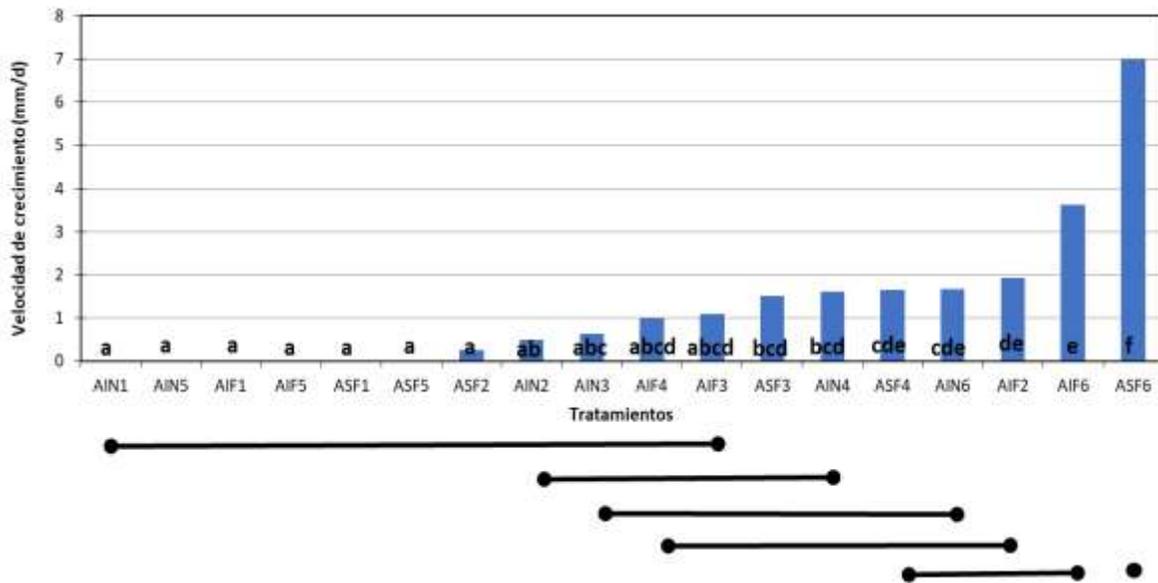


Figura 4.40 Prueba Duncan de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.

4.4.3.2 Germinados de frijol

Las Figuras 4.41 y 4.42 presentan las pruebas de Rango Múltiple de Tukey y Duncan para comparar las medias de los tratamientos para el crecimiento de frijol, para la respuesta de longitud de crecimiento. Ambas pruebas dieron 8 grupos, siendo el mejor y único tratamiento el de FSF6. Para las pruebas de Duncan los tratamientos FSF4, FSN6, FIF6, FIN6 y FSF3 no tienen diferencias significativas.

Respecto de la velocidad de crecimiento, Figura 4.43 y 4.44, la prueba de Tukey dio 6 grupos y la prueba de Duncan, 7. El único y mejor tratamiento fue el FSF6 en ambas pruebas y se clasificó como un solo grupo. También se debe señalar que en los tratamientos en donde las velocidades son muy bajas, de 0-2 mm/d, de manera general, no hay diferencia significativa. En la prueba de Duncan, el grupo anterior el mejor, está formado de los tratamientos FIN4, FIF4, FSN6, FSF4, FSF3, FIF6, FIN6 que no mostraron diferencia significativa.

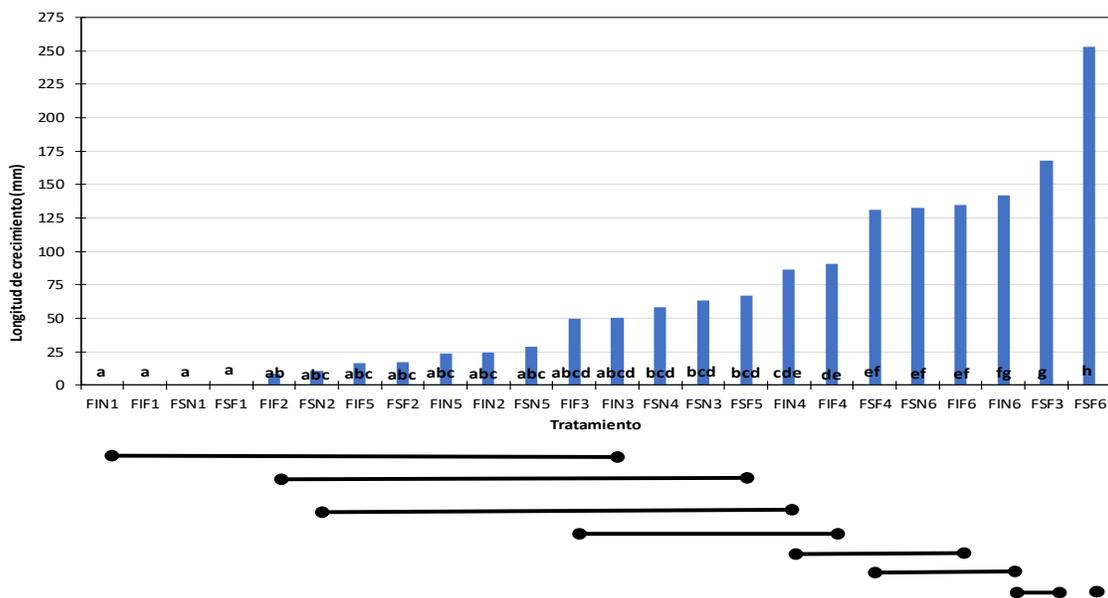


Figura 4.41 Prueba Tukey de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de frijol.

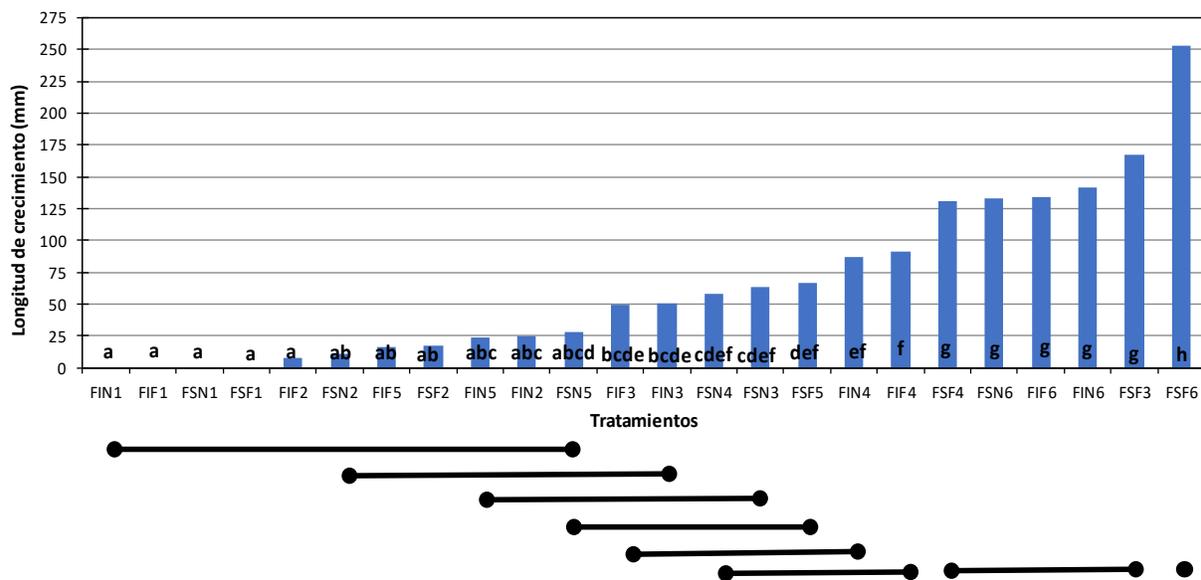


Figura 4.42 Prueba Duncan de comparación de medias para longitud de crecimiento de germinados de frijol.

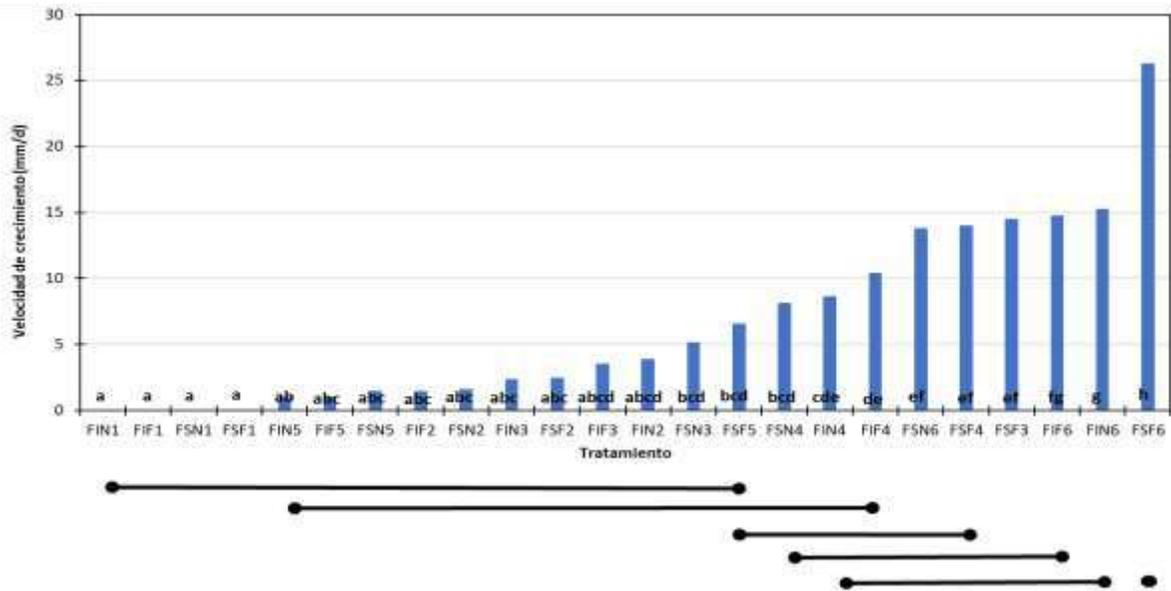


Figura 4.43 Prueba Tukey de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.

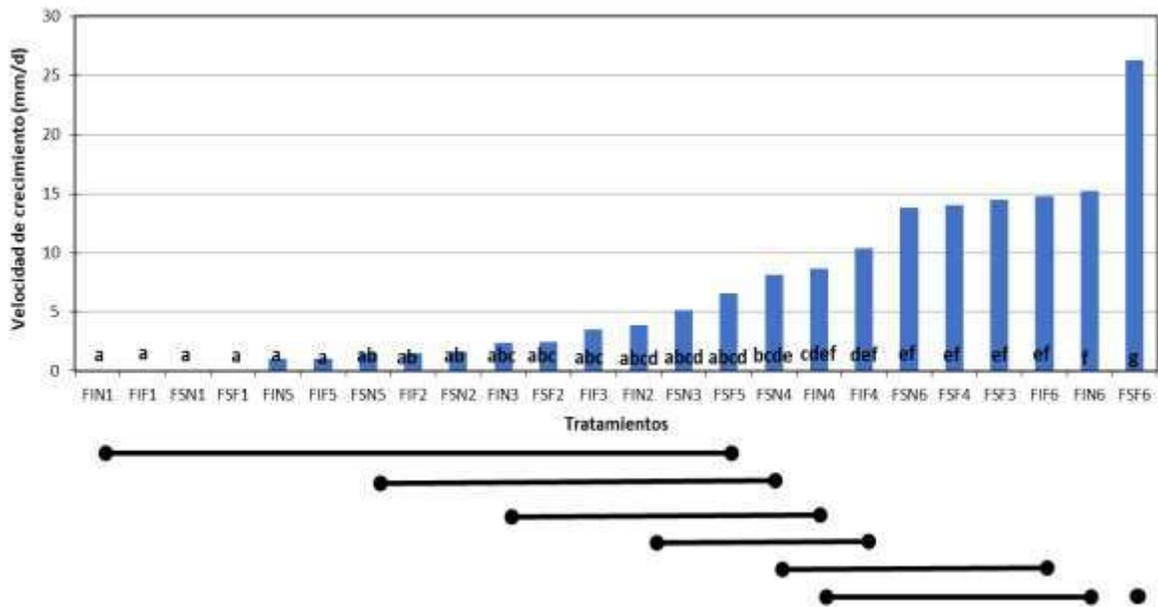


Figura 4.44 Prueba Duncan de comparación de medias para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.

4.4.4 Diseño Factorial 2^k

Los resultados obtenidos en el ANOVA de dos vías y en las Pruebas de Rango Múltiple, permiten analizar los tratamientos como Diseños Factoriales 2^k para ambos germinados con las respuestas de longitud de crecimiento máxima y velocidad de crecimiento. El Diseño Factorial 2^k se estudia el efecto de *k* factores con dos niveles de prueba (Gutiérrez Pulido y Vara Salazar, 2008).

4.4.4.1 Germinados de alfalfa

En el caso de los germinados de alfalfa, se planteó un Diseño Factorial 2³, en la Tabla 4.35 se muestran los tres factores (Temperatura, Humedad y uso de papel Filtro) y dos niveles asignados (bajo y alto); para alfalfa no fue posible asignar el factor posición de la charola, ya que no se usó la charola superior, de lo contrario se hubiera planteado un diseño 2⁴, como el que si se realizó para frijol.

De acuerdo con Gutiérrez Pulido y Vara Salazar (2008) cada réplica de este diseño es 2*2*2=8 combinaciones o tratamientos que se pueden expresar de diferentes formas, como se ve en la Tabla 4.36 para describir los tratamientos del diseño 2³, se analizó en primer lugar la respuesta de longitud de crecimiento máxima. La notación de signos es útil para los cálculos del modelo de regresión lineal que se realiza en los softwares especializados en estadística. La notación de Yates es el total o la suma de las observaciones en cada tratamiento más que el mismo tratamiento; en esta notación una letra presente significa que el factor está en su nivel alto, si está ausente el factor está en su nivel bajo. Por ejemplo, *ac* indica que los factores A y C en el tratamiento están en su nivel alto (+/+1) y B en su nivel bajo.

Tabla 4.35 Diseño Factorial 2³ para los tratamientos de alfalfa.

Factor	Nivel		Unidad
	Bajo/-/-1	Alto/+/+1	
A= Temperatura	20	30	°C
B= Humedad	70	85	%
C= Filtro	NO	SI	Adim.

Tabla 4.36 Diseño Factorial 2³ para los tratamientos de alfalfa, notaciones varias. Respuesta: Longitud de crecimiento máxima.

Tratamientos	Yates	A	B	C	Clave	A	B	C	Longitud de crecimiento máxima (mm)				
1	_(1)	20	70	NO	AIN4	-1	-1	-1	15	20	15	15	12
2	a	30	70	NO	AIN5	1	-1	-1	3	5	9	6	3
3	b	20	85	NO	AIN3	-1	1	-1	26	24	25	27	24
4	ab	30	85	NO	AIN6	1	1	-1	30	42	40	30	32
5	c	20	70	SI	AIF.4	-1	-1	1	15	15	15	20	10
6	ac	30	70	SI	AIF.5	1	-1	1	10	5	10	4	6
7	bc	20	85	SI	AIF3	-1	1	1	35	30	25	24	32
8	abc	30	85	SI	AIF6	1	1	1	76	90	80	75	95

En la Tabla 4.37 se reportan los resultados del ANOVA diseño factorial donde se indica que todos los factores y sus interacciones tienen efecto significativo en la longitud de crecimiento, siendo el más importante la humedad seguida de la interacción Temperatura-Humedad (AB), como se observa en la Figura 4.45.

Las gráficas de efectos principales considerando la respuesta de longitud del germinado, Figura 4.46, muestran las tendencias con el factor principal, humedad, observándose que a 85 %H se obtienen los mayores valores de longitud a cualquier temperatura con o sin la presencia de papel filtro.

Finalmente, el análisis estadístico se completa con la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), es una “metodología de optimización” que se ha usado para encontrar las condiciones óptimas de un proceso y proponer “valores óptimos”, se basa en un análisis de regresión lineal múltiple en el que se consideran los efectos principales. La región de *operabilidad* está delimitada por las condiciones del proceso, pero permite proponer el siguiente diseño de experimentos con valores superiores o inferiores de los niveles de los factores (incluso excluirlos manteniéndolos iguales en caso de no tener significancia), a los de la región experimental, con el fin de mejorar “optimizar” la respuesta.

La Figura 4.47 es la gráfica de Superficie de Respuesta para la longitud de crecimiento del diseño factorial propuesto de acuerdo con los factores más significativos, en este caso la humedad y su interacción con la temperatura de 30 °C, aumentan la longitud del germinado, el efecto es similar con o sin papel filtro.

Tabla 4.37 ANOVA para el Diseño Factorial 2³ para alfalfa, respuesta estudiada: longitud de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
A=Temperatura	1288.225	1	1288.225	60.5155	7.1546E-09	Si
B=Humedad	10530.025	1	10530.025	494.6576	4.9740E-21	Si
C=Filtro	1809.025	1	1809.025	84.9806	1.5968E-10	Si
AB	4182.025	1	4182.025	196.4544	3.2982E-15	Si
AC	1357.225	1	1357.225	63.7568	4.0904E-09	Si
BC	1625.625	1	1625.625	76.3652	5.5071E-10	Si
ABC	1113.025	1	1113.025	52.2853	3.2546E-08	Si
Error	681.2	32	21.287			
Total	22586.375	39	579.137			

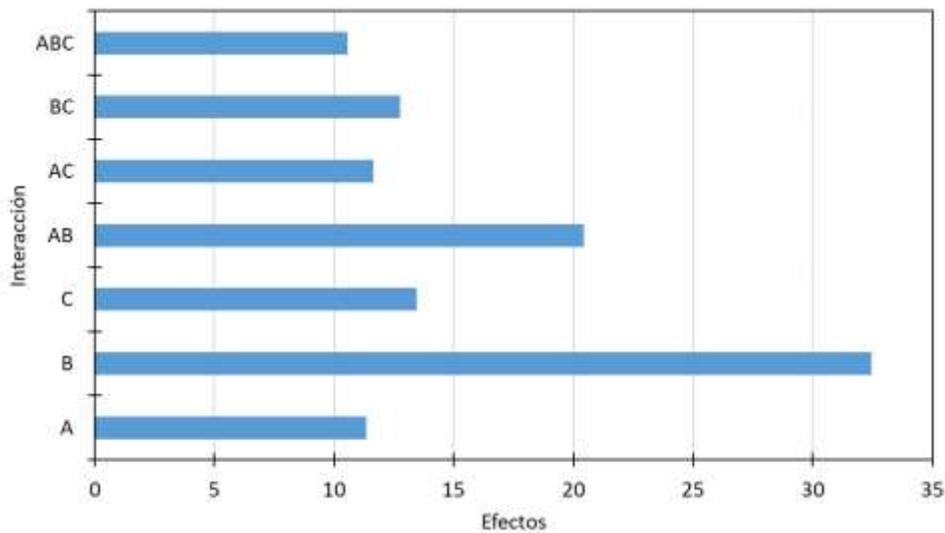


Figura 4.45 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2³ para longitud de crecimiento de germinados de alfalfa.

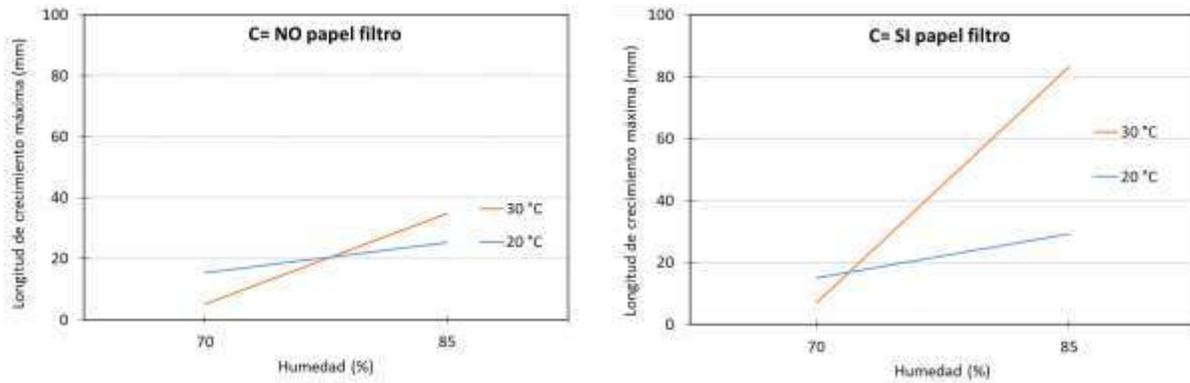


Figura 4.46 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2^3 de germinados de alfalfa, respuesta: longitud de crecimiento.

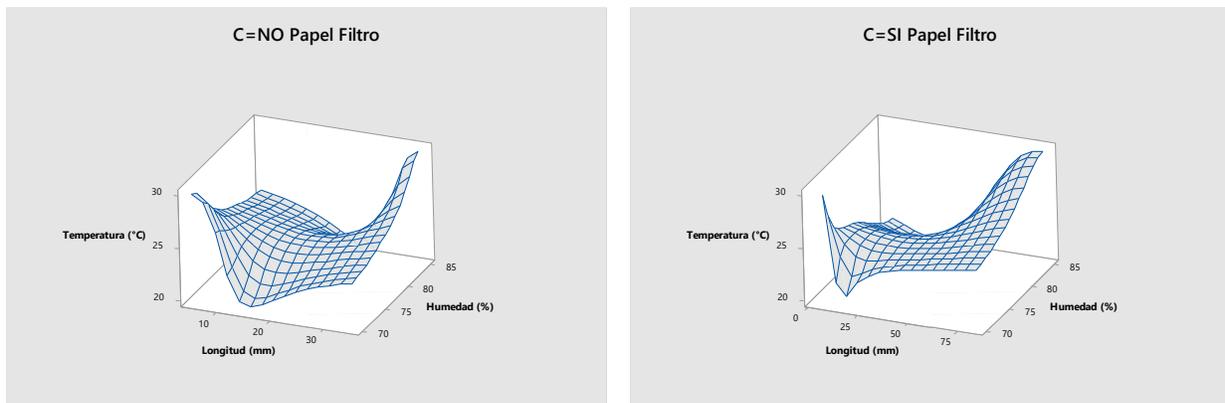


Figura 4.47 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2^3 de germinados de alfalfa, respuesta: longitud de crecimiento.

En la Tabla 4.38 se reporta en varias notaciones el Diseño Factorial 2^3 para los tratamientos de alfalfa con la respuesta de velocidad de crecimiento y en la Tabla 4.39 los resultados del ANOVA diseño factorial 2^3 que indican que solo el factor humedad tiene efecto significativo; este factor es el más importante de forma individual. De las interacciones, la temperatura-humedad, como se observa en la Figura 4.48. Las gráficas de efectos principales de la Figura 4.49, muestran las tendencias con el factor principal, humedad, observándose que a 85 %H se obtienen los mayores valores de longitud a la temperatura de 30 °C con o sin la presencia de papel filtro.

La gráfica de Superficie de Respuesta de la Figura 4.50 para la velocidad de crecimiento, muestra que la humedad y su interacción con la mayor temperatura la de 30 °C aumenta la velocidad de crecimiento del germinado, efecto similar con o sin papel filtro. A diferencia de la longitud, la velocidad fue también alta para una humedad de 70 %.

Tabla 4.38 Diseño Factorial 2³ para los tratamientos de alfalfa, notaciones varias. Respuesta: Velocidad de crecimiento.

Tratamientos	Yates	A	B	C	Clave	A	B	C	Velocidad de crecimiento (mm/d)				
1	_(1)	20	70	NO	AIF4	-1	-1	-1	1.8649	1.9459	0.9865	1.7162	1.3108
2	a	30	70	NO	AIF5	1	-1	-1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	b	20	85	NO	AIF3	-1	1	-1	0.4324	0.2838	0.4189	0.4324	0.5676
4	ab	30	85	NO	AIF6	1	1	-1	1.3514	4.7297	2.8378	0.2838	2.0270
5	c	20	70	SI	AIN4	-1	-1	1	1.7162	1.1216	0.6757	1.6486	0.2838
6	ac	30	70	SI	AIN5	1	-1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	bc	20	85	SI	AIN3	-1	1	1	2.4730	2.4595	0.5676	0.5676	1.6351
8	abc	30	85	SI	AIN6	1	1	1	1.1081	7.0270	3.0000	3.4459	8.1081

Tabla 4.39 ANOVA para el Diseño Factorial 2³ para alfalfa, respuesta estudiada: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
A=Temperatura	2.9218	1	2.9218	1.8218	0.1866	No
B=Humedad	23.2356	1	23.2356	14.4879	0.0006	Si
C=Filtro	5.3646	1	5.3646	3.3449	0.0767	No
AB	34.8781	1	34.8781	21.7472	0.0001	Si
AC	1.7099	1	1.7099	1.0662	0.3096	No
BC	9.4142	1	9.4142	5.8700	0.0212	Si
ABC	0.3086	1	0.3086	0.1924	0.6638	No
Error	51.3215	32	1.6038			
Total	129.1545	39	3.3117			

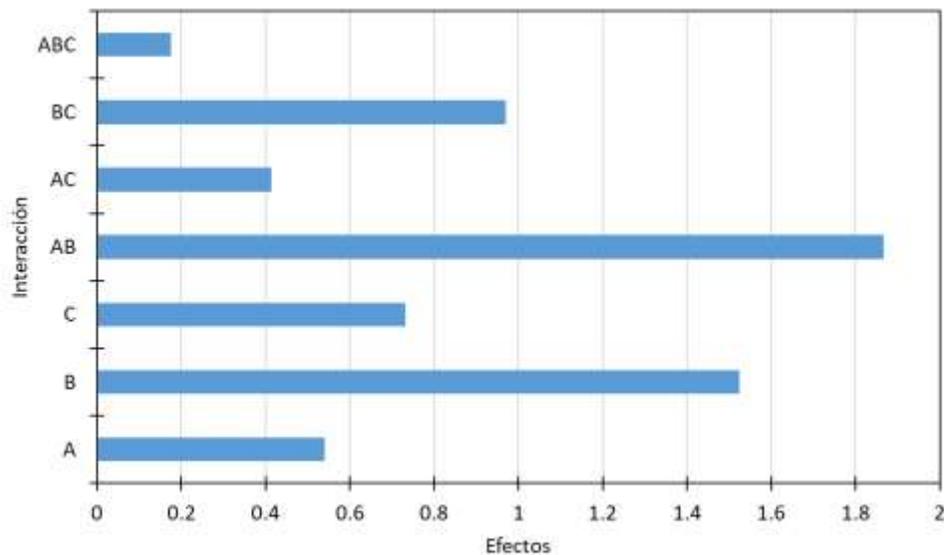


Figura 4.48 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2³ para velocidad de crecimiento de germinados de alfalfa.

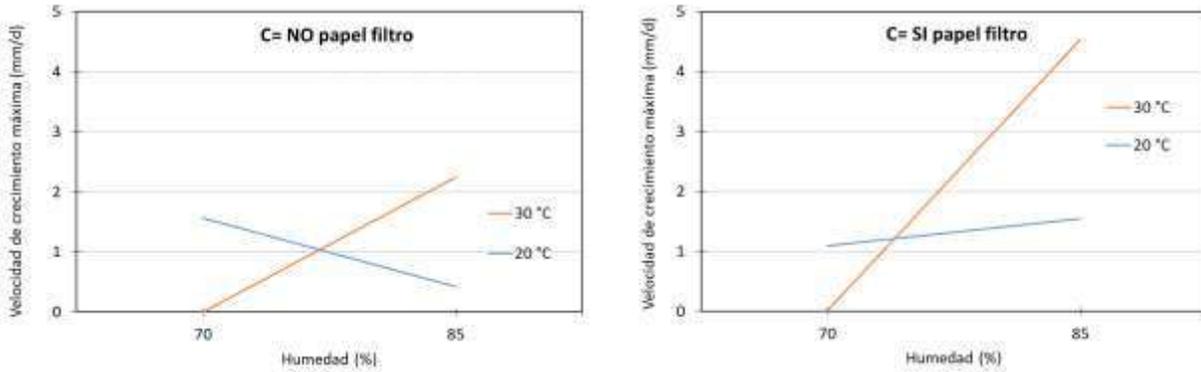


Figura 4.49 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2³ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.

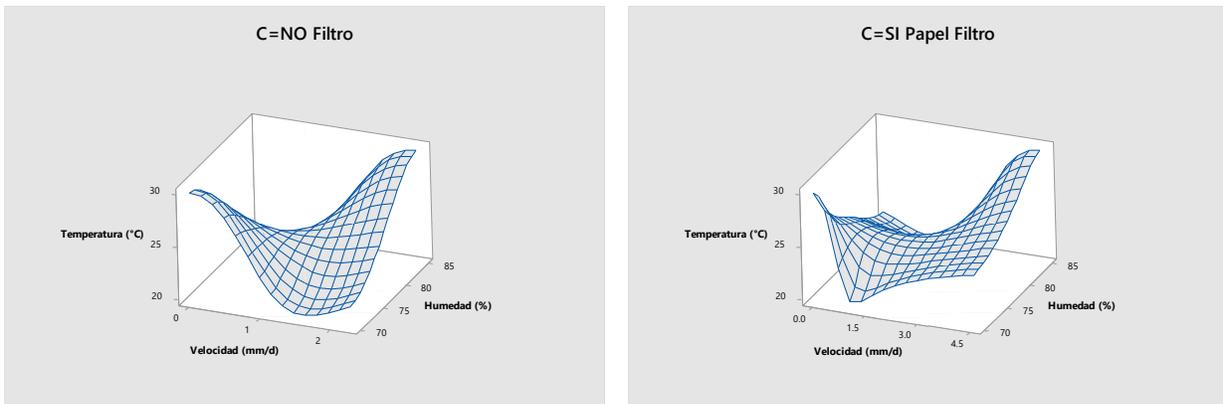


Figura 4.50 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2³ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.

4.4.4.2 Germinados de frijol

La Tabla 4.40 muestra el diseño factorial 2⁴ propuesto para la germinación de frijol; se eligieron cuatro factores (Temperatura, Humedad, uso de papel filtro y posición de la charola) y dos niveles (bajo y alto). En este diseño se tienen 2*2*2*2=16 combinaciones o tratamientos, la Tabla 4.41 presenta los tratamientos en las diferentes notaciones y para la respuesta de longitud de crecimiento máxima.

El ANOVA del diseño factorial indica que todos los factores tienen efecto significativo, el más grande la humedad, Tabla 4.42 y Figura 4.51; en este caso la interacción la temperatura-humedad es la más significativa, cabe mencionar que el programa no calculó la interacción de los cuatro factores, Real Statistics solo interacciones de tres factores. Las gráficas de efectos principales, Figura 4.52, con la humedad como el factor principal, indican que a 85 %H se obtienen los mayores valores de longitud a la temperatura de 30 °C con papel filtro y en la charola superior. La gráfica de Superficie de Respuesta de la Figura 4.53 confirma las tendencias para la longitud de crecimiento.

Tabla 4.40 Diseño Factorial 2⁴ para los tratamientos de frijol.

Factor	Nivel		Unidad
	Bajo	Alto	
A= Temperatura	20	30	°C
B= Humedad	70	85	%
C= Filtro	NO	SI	Adim.
D= Charolas	Inferior	Superior	Adim.

Tabla 4.41 Diseño Factorial 2⁴ para los tratamientos de frijol, notaciones varias. Respuesta: Longitud de crecimiento máxima.

Tratamientos	Yates	A	B	C	D	Clave	A	B	C	D	Longitud de crecimiento máxima (mm)			
1	_(1)	20	70	NO	Inferior	FIN4	-1	-1	-1	-1	80	90	70	110
2	a	30	70	NO	Inferior	FIN5	1	-1	-1	-1	28	33	15	20
3	b	20	85	NO	Inferior	FIN3	-1	1	-1	-1	50	40	38	37
4	ab	30	85	NO	Inferior	FIN6	1	1	-1	-1	175	220	140	60
5	c	20	70	SI	Inferior	FIF4	-1	-1	1	-1	80	70	90	90
6	ac	30	70	SI	Inferior	FIF5	1	-1	1	-1	14	10	13	18
7	bc	20	85	SI	Inferior	FIF3	-1	1	1	-1	36	45	67	60
8	abc	30	85	SI	Inferior	FIF6	1	1	1	-1	220	75	150	110
9	d	20	70	NO	Superior	FSN4	-1	-1	-1	1	30	22	50	50
10	ad	30	70	NO	Superior	FSN5	1	-1	-1	1	20	27	16	35
11	bd	20	85	NO	Superior	FSN3	-1	1	-1	1	110	90	75	55
12	abd	30	85	NO	Superior	FSN6	1	1	-1	1	100	190	170	100
13	cd	20	70	SI	Superior	FSF4	-1	-1	1	1	110	160	120	170
14	acd	30	70	SI	Superior	FSF5	1	-1	1	1	90	140	70	100
15	bcd	20	85	SI	Superior	FSF3	-1	1	1	1	220	210	170	150
16	abcd	30	85	SI	Superior	FSF6	1	1	1	1	280	320	260	220

Tabla 4.42 Diseño Factorial 2⁴ para crecimiento de frijol, respuesta estudiada: longitud de crecimiento máxima.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
A=Temperatura	5513.0625	1	5513.0625	5.2706	0.02600688	Si
B=Humedad	75762.5625	1	75762.5625	72.4304	3.1991E-11	Si
C=Filtro	39601	1	39601	37.8593	1.3594E-07	Si
D=Charola	38809	1	38809	37.1021	1.6935E-07	Si
AB	67600	1	67600	64.6268	1.6651E-10	Si
AC	189.0625	1	189.0625	0.1807	0.6725	No
AD	150.0625	1	150.0625	0.1435	0.7064	No
BC	1350.5625	1	1350.5625	1.2912	0.2613	No
BD	10455.0625	1	10455.0625	9.9952	0.0026	Si
CD	45582.25	1	45582.25	43.5775	2.7514E-08	Si
ABC	324	1	324	0.3097	0.5803	No
ABD	4422.25	1	4422.25	4.2278	0.0451	Si
ACD	150.0625	1	150.0625	0.1435	0.7064	No
BCD	430.5625	1	430.5625	0.4116	0.5241	No
Error	51254.25	49	1046.0051			
Total	341593.75	63	5422.12302			

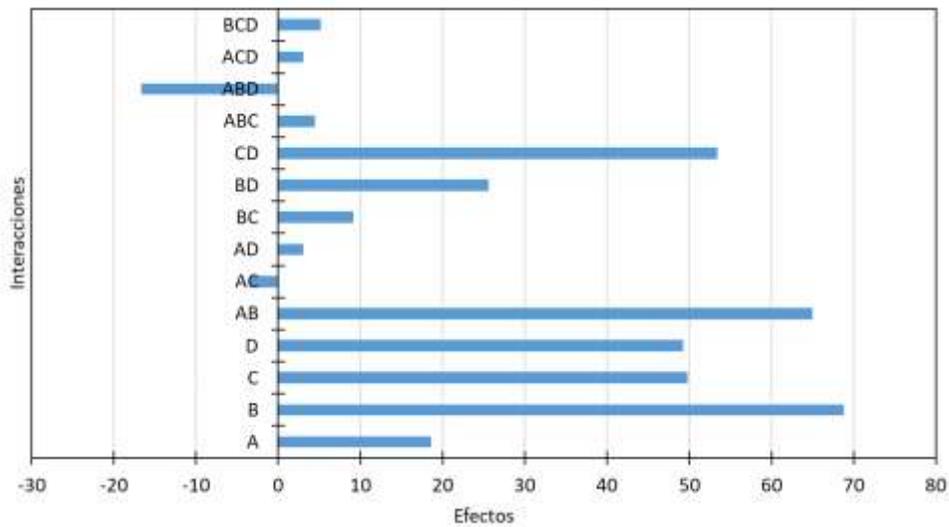


Figura 4.51 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2⁴ para longitud de crecimiento de germinados de frijol.

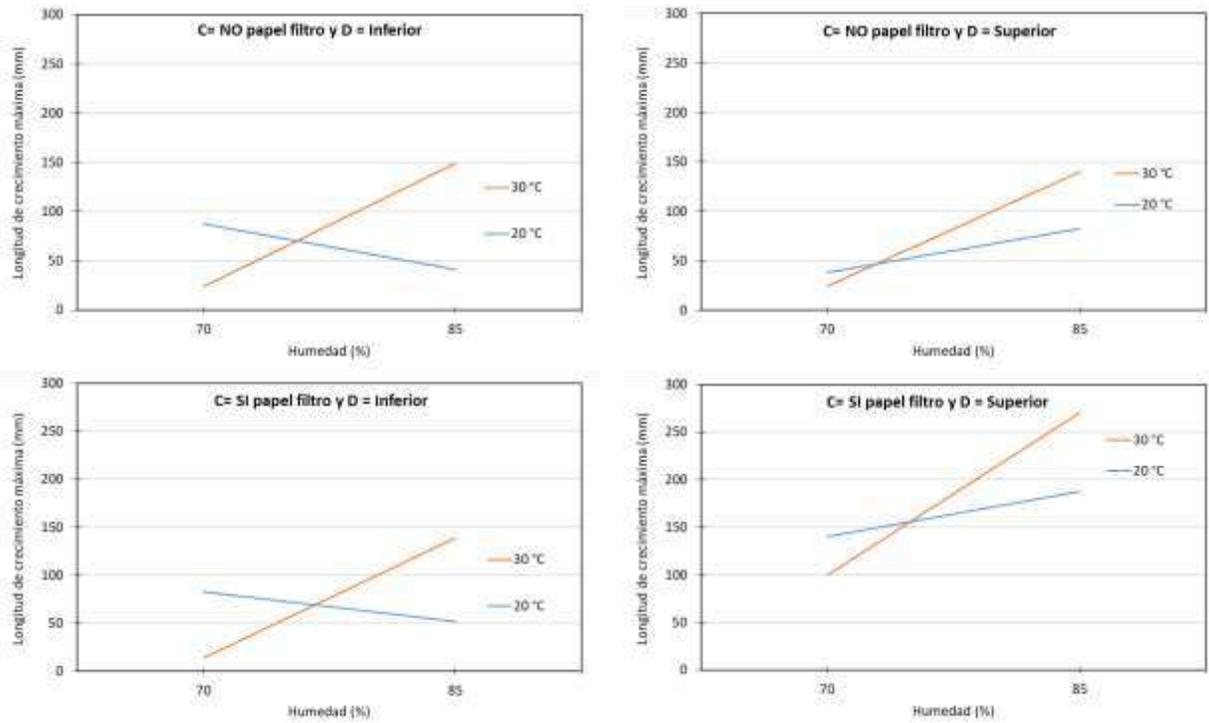


Figura 4.52 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2⁴ de germinados de frijol,

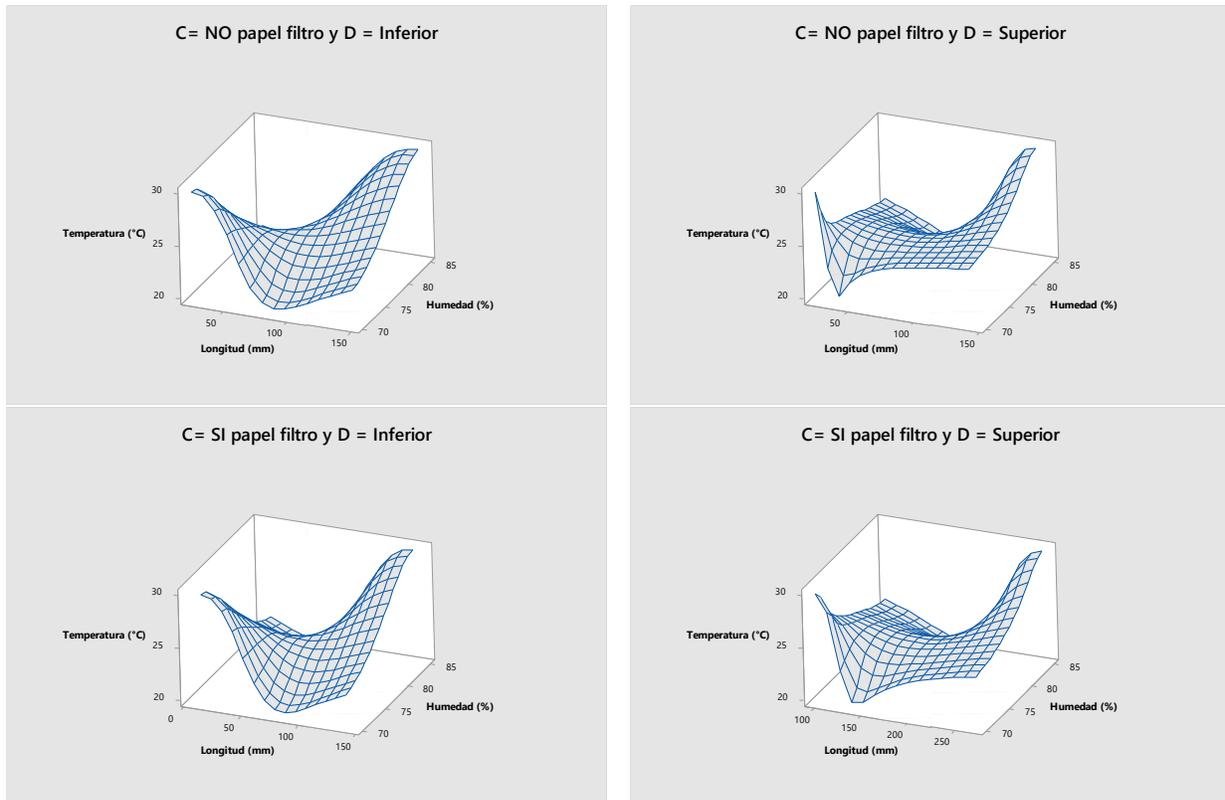


Figura 4.53 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2⁴ de germinados de frijol, respuesta: longitud de crecimiento.

Para completar el análisis del crecimiento de los germinados de frijol, se analizó la velocidad de crecimiento, la Tabla 4.43 muestra el diseño factorial 2⁴ propuesto, cuatro factores en sus dos niveles, con los tratamientos realizados según las combinaciones. Los resultados del ANOVA del diseño factorial de la Tabla 4.44 son similares a los obtenidos para la longitud de crecimiento, para la velocidad de crecimiento también todos los factores tienen efecto significativo siendo el más grande la humedad y la interacción de la temperatura-humedad es la más significativa, Tabla 4.44 y Figura 4.54. Las gráficas de efectos principales, Figura 4.55, con la humedad como el factor principal, indican que a 85 %H se obtienen los mayores valores de velocidad a la temperatura de 30 °C con papel filtro y en la charola superior, sin embargo, también se obtienen valores altos de velocidad sin papel filtro y en charola inferior, estas tendencias se observan mejor en la gráfica de Superficie de Respuesta de la Figura 4.56.

Tabla 4.43 Diseño Factorial 2⁴ para los tratamientos de frijol, notaciones varias. Respuesta: Velocidad de crecimiento.

Tratamientos	Yates	A	B	C	D	Clave	A	B	C	D	Velocidad de crecimiento (mm/d)		
1	_(1)	20	70	NO	Inferior	FIN4	-1	-1	-1	-1	10.8784	11.7568	8.3784
2	a	30	70	NO	Inferior	FIN5	1	-1	-1	-1	1.1486	1.5811	0.2838
3	b	20	85	NO	Inferior	FIN3	-1	1	-1	-1	1.9189	1.9459	2.2027
4	ab	30	85	NO	Inferior	FIN6	1	1	-1	-1	18.3108	25.8784	15.0405
5	c	20	70	SI	Inferior	FIF4	-1	-1	1	-1	8.1486	6.5541	12.6351
6	ac	30	70	SI	Inferior	FIF5	1	-1	1	-1	0.7027	0.5676	0.9730
7	bc	20	85	SI	Inferior	FIF3	-1	1	1	-1	1.6216	2.0811	6.0811
8	abc	30	85	SI	Inferior	FIF6	1	1	1	-1	29.3919	3.6486	15.0000
9	d	20	70	NO	Superior	FSN4	-1	-1	-1	1	4.1892	3.0405	6.8919
10	ad	30	70	NO	Superior	FSN5	1	-1	-1	1	1.1351	1.7162	0.2838
11	bd	20	85	NO	Superior	FSN3	-1	1	-1	1	11.8243	6.1216	7.1622
12	abd	30	85	NO	Superior	FSN6	1	1	-1	1	11.8243	20.0000	19.7838
13	cd	20	70	SI	Superior	FSF4	-1	-1	1	1	11.6216	20.5405	3.3333
14	acd	30	70	SI	Superior	FSF5	1	-1	1	1	10.9054	16.8919	3.5135
15	bcd	20	85	SI	Superior	FSF3	-1	1	1	1	23.1757	15.9459	13.2432
16	abcd	30	85	SI	Superior	FSF6	1	1	1	1	27.9730	38.7162	28.7162

Tabla 4.44 ANOVA para el Diseño Factorial 2⁴ para crecimiento de frijol, respuesta estudiada: velocidad de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcalculada	P valor	Dif Sig
A=Temperatura	179.0025	1	179.0025	6.6901	0.01429451	Si
B=Humedad	832.8079	1	832.8079	31.1254	3.3381E-06	Si
C=Filtro	246.0908	1	246.0908	9.1974	0.00469421	Si
D=Charola	309.1681	1	309.1681	11.5549	0.0017817	Si
AB	1094.6709	1	1094.6709	40.9123	3.0197E-07	Si
AC	2.6802	1	2.6802	0.1002	0.75361997	No
AD	5.3634	1	5.3634	0.2005	0.65728138	No
BC	7.1129	1	7.1129	0.2658	0.60957566	No
BD	136.3836	1	136.3836	5.0972	0.03070285	Si
CD	365.8796	1	365.8796	13.6744	0.00078613	Si
ABC	1.3575	1	1.3575	0.0507	0.82317997	No
ABD	74.5053	1	74.5053	2.7846	0.10463856	No
ACD	26.0225	1	26.0225	0.9726	0.33121653	No
BCD	12.5374	1	12.5374	0.4686	0.49842344	No
Error	882.9649	33	26.7565			
Total	4176.5475	47	88.8627			

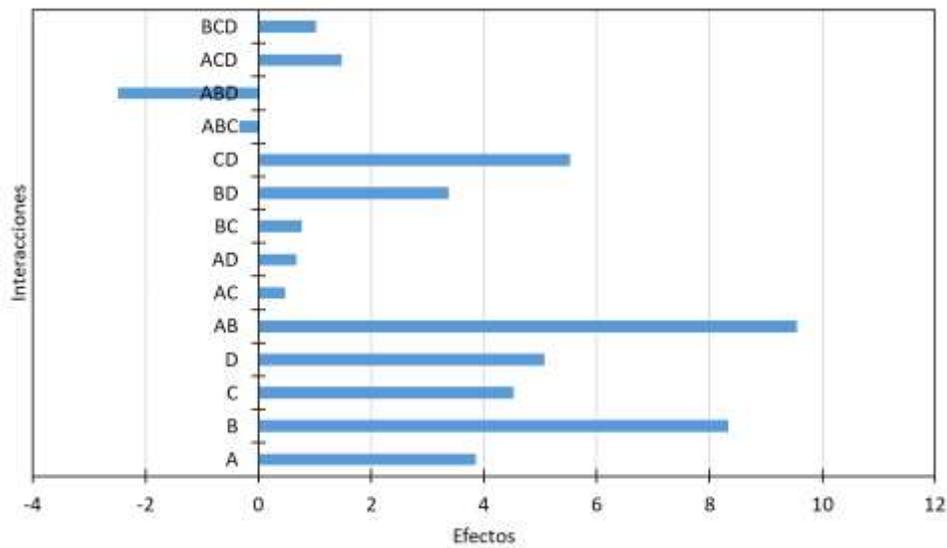


Figura 4.54 Efecto de los factores en el Diseño Experimental 2⁴ para velocidad de crecimiento de germinados de frijol.

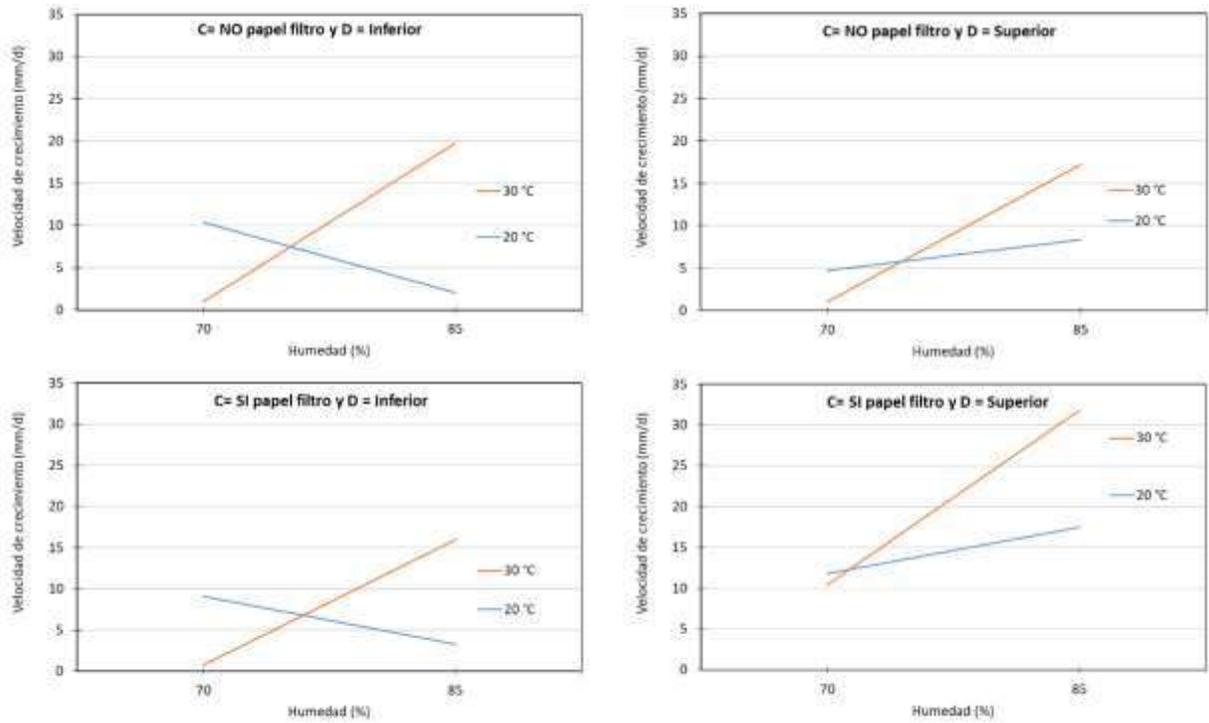


Figura 4.55 Gráfica de efectos principales para el Diseño Experimental 2⁴ de germinados de alfalfa, respuesta: velocidad de crecimiento.

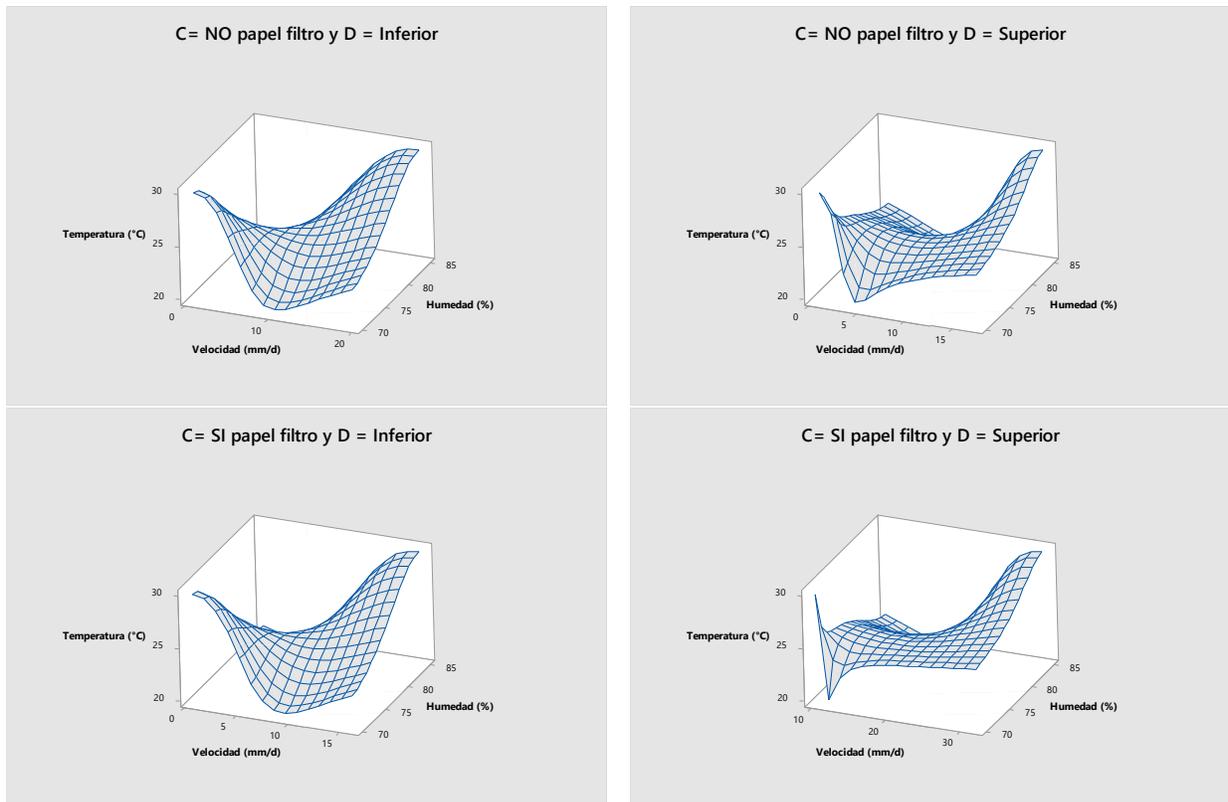


Figura 4.56 Metodología de Superficie de Respuesta para el Diseño Experimental 2⁴ de germinados de frijol, respuesta: velocidad de crecimiento.

4.4.5 Medida de la potencia luminosa en el prototipo

4.4.5.1 Medición de luz

Con fines informativos, se realiza la medición de los luxes a distintas horas cerca de la ventana, obteniéndose los resultados de la Tabla 4.45, así como también se muestra la cantidad de luz que recibe de noche con la lámpara que se enciende, Figura 4.57, acelerando el crecimiento del germinado como se muestra en la Tabla 4.46. Los resultados se graficaron y se observan en la Figura 4.58.

Tabla 4.45 Resultados de luz que recibe el germinador a distintas horas del día en un día soleado.

Luz apagada de germinador		
	Charola superior	Charola inferior
Hora de inspección	Luxes	Luxes
09:00 hrs	970	18380
12:00 hrs	670	620
18:00 hrs	180	230

Tabla 4.46 Resultados de luz que recibe el germinador de noche.

Luz apagada de germinador		
	Charola superior	Charola inferior
	Luxes	Luxes
Noche	3760	2730



Figura 4.57 Medición de la cantidad de luz en el prototipo.

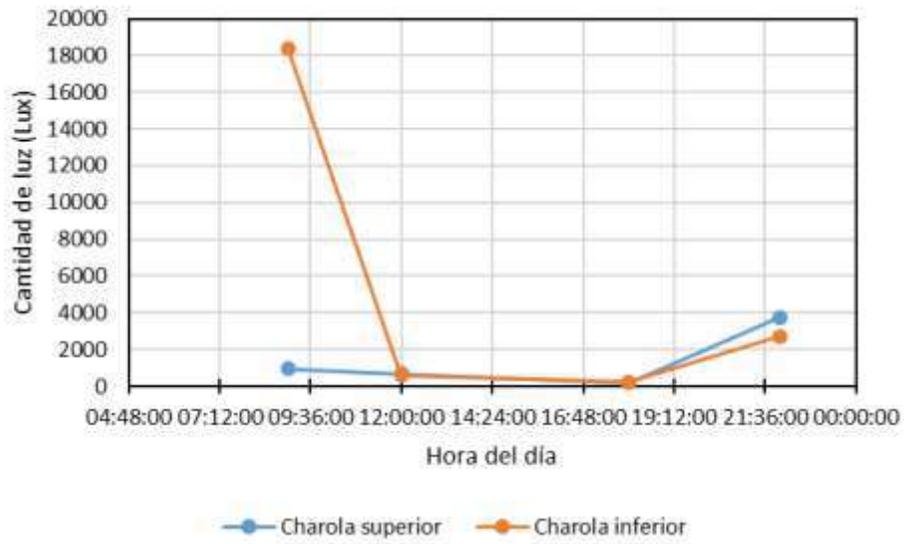


Figura 4.58 Medición de la cantidad de luz en el prototipo.

4.4.6 Análisis de consumo de agua

En este último experimento, también se analizó el consumo de agua durante 14 días, al final del periodo se obtuvo un consumo de 31 litros de agua como se muestra en la Tabla 4.46

Tabla 4.46 Consumo de agua de germinador de semillas durante 14 días.

Volumen	Valor (L)
Litros iniciales	36
Litros finales	5
Consumo en 14 días	31

V

Conclusiones

5 Capítulo 5: Conclusiones y Perspectivas

5.1 Conclusiones

El análisis cuantitativo de los germinadores permitió diseñar el prototipo y establecer las condiciones idóneas para la germinación de las semillas. El prototipo fue construido con materiales de grado alimenticio y consta de un sistema de riego por aspersión y recirculación de agua además de lámparas, las cuales son controladas por un dispositivo electrónico de medición de temperatura y humedad el cual es programable y actúa de manera independiente y permite controlar estos parámetros.

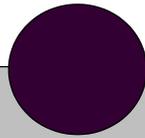
Se validó el prototipo cultivando germinados de semillas de alfalfa y frijol, como semillas de prueba, las respuestas observadas fueron la longitud de crecimiento máxima y la velocidad de crecimiento. La semilla de frijol crece más y más rápido que la de alfalfa, en promedio tuvo una longitud de crecimiento 4.6 veces mayor y una velocidad de crecimiento 6.6 veces mayor; para el crecimiento de los germinados de ambas semillas, la humedad y la temperatura tienen efecto significativo tanto para la longitud como para la velocidad de crecimiento, siendo la humedad el factor más importante en términos generales. Las mejores condiciones de crecimiento para ambas semillas fueron 25-30 °C y 85-90 % HR. En los germinados de alfalfa la posición en la charola no presentó efecto significativo, pero si la presencia de papel filtro, que mejora el crecimiento al conservar la humedad; en el caso de los germinados de frijol la presencia de papel filtro y la posición en la charola no fueron significativos. Se hizo el análisis estadístico tomando como respuesta la longitud y la velocidad de crecimiento de los germinados, que solventarán el registro del prototipo, sea como patente o como modelo de utilidad.

El análisis estadístico es una poderosa herramienta para la validación de cualquier equipo y experimento que da validez y rigor científico. En el caso de este prototipo en términos generales, permitió determinar que el factor más significativo para la producción de los germinados es la humedad y no importa la posición de las charolas pudiendo incluso adicionar más, tampoco es necesario el uso de papel filtro. Respecto a la interacción con la temperatura, esta puede mantenerse entre 20-30 °C, es decir alrededor de la temperatura ambiente, por lo que se puede tener dentro de casa sin gasto de energía adicional.

Los germinadores son equipos que contribuyen a lograr los objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030, de combatir el hambre y la malnutrición, promover la seguridad alimentaria mediante la agricultura y la producción sostenible para aprovechar los recursos de forma óptima reduciendo los costos.

5.2 Perspectivas

Dentro de las mejoras se podría mejorar el sistema de ventilación de tal manera que no hay pérdida de agua durante la aspersión del agua, así como también se podría incorporar un sistema de aspersión más eficiente, y adicionalmente, estudios para evitar el crecimiento de hongos y tratamiento del agua.



Referencias Bibliográficas

Referencias Bibliográficas

Acrílicos Online (2022). Una división de la casa del celuloide. <https://www.acrilicosonline.com.ar/acrilicos/planchas/informacion-tecnica/>

Alina Botero, M.A. (2011). Los germinados como alimento excepcional y medicina natural. Recuperado el 10 de diciembre 2022 de Scribd de <https://www.scribd.com/document/129353449/Los-Germinados-Como-Alimento-Excepcional-y-Medicina-Natural#>

Anaïs, C (2020). Method for controlling the germination of seeds and germination device. Estados Unidos de América. US20200120855. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=US293703772&_cid=P12-LK955W-15121-1

Arriaga et al. (2011). Efectos de dos tratamientos pregerminativos en las semillas. Foresta Veracruzana. Recursos Genéticos Forestales Universidad Veracruzana.

Arnold (1996). Manual de Viverización y plantación de especies nativas. Instituto Forestal de Chile.

Barnes, D.K., B.P. Goplen, and J.E. Baylor. 1988. Highlights in the USA and Canada. pgs. 1-22 In Hanson, A.A., D.K. Barnes, and R.R. Hill, Jr. (Eds.) Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Monograph No. 29. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Benyu, Z (2020). Seed Germinator. China. CN112005659. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN313585497&_cid=P12-LK95AQ-16825-1

Bolet M. y Socarrás M.M. (2010), Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, recuperado el 16 de Julio de 2022 de Sielo artículos: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03002002000200007

Botero, M.A. (2011). Los germinados como alimento excepcional y medicina natural. Recuperado el 10 de diciembre 2022 de Scribd de <https://www.scribd.com/document/129353449/Los-Germinados-Como-Alimento-Excepcional-y-Medicina-Natural#>

Camacho, M. (1994). "Dormición en semillas: causas y tratamientos". Trillas México, 125 p.

Carretti, A. (1998). Germinador neumático con un cilindro continuamente rotatorio. España. ES2119349. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES5476747&_cid=P12-LK96NN-33869-1

C., D. (25 de abril de 2012). Conciencia Eco. Obtenido de ¿Qué son los germinados?: <https://www.concienciaeco.com/2012/04/25/que-son-los-germinados/>

Dapeng, G. et al. (2018). Seed disinfection Germinator. China. CN108886916 URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN234826701&_cid=P12-LK95NJ-20817-1

De Morfin y Camacho (1987).

Drew R. G. (1992). Seed Germinator. Estados Unidos de América. US5094033. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=US38105219&_cid=P12-LK9539-13790-1

- Donoso, C. 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 483 pp.
- Ellis et al. (1990). Bases para la conservación de las semillas. Recuperado el 10 de diciembre de scielo de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722015000100010
- ESP@CENET Base de datos de patentes publicadas en Latinoamérica.
- Esparza, M. J. H. 1996. Origen y Desarrollo de la Semilla en las Semillas en México. INIFAP-SAGAR.
- Figueroa, J. y Jaksic, F. 2004. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:201-215.
- García, L. (21 de diciembre de 2015). Luis García Vegan Food. Obtenido de Conocer los beneficios de los germinados: <https://luisgarciavegan.com/conoce-los-beneficios-de-los-germinados/>
- García, J. 1991. Manual de Repoblaciones Forestales. Tomo I. Esc. Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Fund. Conde del Valle de Salazar. Madrid-España. 794 pp.
- GUI, Z. (2015). Seed Germinator. China. CN204316978 URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN158996403&_cid=P12-LK95FL-18489-1
- Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. d. l. (2008). Análisis y diseño de experimentos (3a. ed.). México D.F., McGrawHill.
- Hae Sik, K. (2007). Combination seed germinator and red pepper dryer for drying and germinating seed by controlling temperature and humidity while stopping operation by setting drying or germinating time. República de Korea. KR1020070035895. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=KR963361&_cid=P12-LK96IU-32223-1
- Hartmann, H. y Kester, D. (1977). Propagación de plantas. Principios y Prácticas. Continental. México. 810 pp.
- Hartmann, H. y Kester, D. (1988). Propagación de Plantas. México D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 pp. Kemp, 1975
- Hebblinck, (1995). Historia de los germinados. Recuperado el 10 de diciembre de 2022 de blogspot de <https://germinados-medicina.blogspot.com/2011/07/historia-de-los-germinados.html>
- Hernández, V. Vargas, M.L., Muruaga, J. Hernández, S. y Mayek, N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Avances y perspectivas. Scielo. Recuperado el 28 de enero de 2022 de Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas (scielo.org.mx).
- Hernández, Victor et al., (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Recuperado el 10 de diciembre de 2022 de scielo de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000200002
- Hill, (1937). The liberation of plant nutrients from the soil as affected by alfalfa.
- Hongjie, J. (2015). Seed Pregermination Device with rotary water spray rods. China. CN104641763. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN137646772&_cid=P12-LK968I-28568-1

- IMPI (2023) Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, base de datos de México.
- Iriondo, A. J. M. (2001). Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (revisión). Unidad Politécnica de Madrid. Investigaciones Agropecuarias: Producción, Protección Vegetal. 16 (1):1-24.
- Isaacs, M. (1927). Seed Germinator. Canadá. CA270074. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CA92681001&_cid=P12-LK963Z-26993-1
- Jia'nan, Y et al. (2018). Bean Sprouts Germinator. China. CN207054351. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN213663624&_cid=P12-LK96FD-31319-1
- Justice, O.L. y Bass, L.N. 1978 Principles and practices of seed storage. USDA Handb. 506. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 289 p.
- LABBE M. (1989). Seed Germinator. Francia. FR2621211. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=FR186267386&_cid=P12-LK95DM-17846-1
- Lihong, W. (2016). Seed Rice Intelligence Germinator. China. CN205491701. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN177488587&_cid=P12-LK95VY-23695-1
- Lihong, W. (2018). Intelligence Germinator. China. CN207639119. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN224502286&_cid=P12-LK96H9-31906-1
- López E. M., Y. A. (2020). Reporte Especial: Informe de Comercio Exterior de alfalfa y pellets de Alfalfa 2020.
- Servicio Meteorológico Nacional-CONAGUA (2023) Monitor de sequía en México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Moreno. M. F. 1996. Análisis Físico y Biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. P. 345.
- Olmo Axayacatl (2019). Estadísticas Mundiales de producción de frijol Recuperado el 10 de diciembre de Blog Agricultura de <https://blogagricultura.com/estadisticas-frijol-produccion/>
- OMPI (2023) Organization Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO), PATENTSCOPE Base de datos de patentes internacionales.
- ONU (2022) Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- ONU-CEPAL (2018) La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina y el Caribe. https://sedeturqroo.gob.mx/pmts2030/documentos/marco_normativo/La%20Agenda%202030%20y%20los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible.pdf
- ONU (1998) Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- ONU (2015). Acuerdo de París. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

- ONU-FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Materiales para capacitación en semillas. Roma.
- Ordoñez, A. 1987. Germinación de las tres especies de *Nothofagus* siempreverdes (Coigües), y variabilidad en la germinación de procedencias de Coigüe común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb) Oerst). Tesis Ing. Forestal. Fac. de Cs Forestales. Univ. Austral de Chile. Valdivia. 134 pp.
- Patiño, F., de la Garza, P.; Villagómez, Y.; Talavera, I. y Camacho, F. 1983. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. México D.F. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Subsecretaría Forestal. Boletín Divulgativo N° 63. 181 pp.
- Peña-Valdivia et al., (2011). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. Recuperado el 10 de diciembre de 2023 de scielo de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043
- Qiancheng, Z. (2017). Constant Temperature Seed Germinator. China. CN206452708. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN204913261&_cid=P12-LK95TX-22856-1
- Qianglin, Z. (2018). High Efficient Type Farming Crop Seed Germinator. China. CN207802713. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN226086909&_cid=P12-LK95R2-21975-1
- Qun, Y. (2020). Rice Steam Germinator. China. CN211931262. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN312352827&_cid=P12-LK96DF-30591-1
- Racines, A. (2011). Investigación de los germinados de lenteja, zanahoria, mostaza y su aplicación en la gastronomía actual. Ecuador.
- Real Statistics (2023). Real Statistics Resource Pack. <https://real-statistics.com/free-download/real-statistics-resource-pack/>
- Robles S. (1985). Supplementation of midgestation swine grazing alfalfa. Recuperado el 10 de diciembre de Alternative agriculture de <https://www.jstor.org/stable/44503105>
- Rojas, R. (11 de diciembre de 2020). Salud Diaria el medio para los médicos. Obtenido de Los 10 países con mayor índice de obesidad en tiempos de Covid-19: <https://www.saludiarario.com/ranking-los-10-paises-con-mayor-indice-de-obesidad-covid-19/>
- Roy, B. (1977). Germinador de semillas. Estados Unidos de América. US4000580. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=US36966830&_cid=P12-LK94Y8-12120-1
- Sanchez, M.E., (2015). Aeroponía: cultivo sin tierra. Recuperado el 10 de diciembre de 2022 de Agricultureros, Red de Especialistas en agricultura de <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Aeroponia-cultivo-sin-tierra>
- Santiago A. Varela, V. A. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos (2011).
- SIAP SADER, (2021). Avance de siembras y cosechas, resumen por estado. Recuperado 10 de diciembre 2022 de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Sotomayor, (1979). Escarificación química y aplicación de ácido giberelico para la germinación de semillas. Interciencia.

The inventor has waived the right to be mentioned (2017). Simple seed germinator. China. CN107124935. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN204800383&_cid=P12-LK9580-16073-1

USPTO Base de datos de patentes en texto completo y con imágenes, Estados Unidos

Vargas, M.D. (2022). Proyectos de investigación entre universidades colombianas y de Estados Unidos buscan crear un equilibrio entre el uso del agua para energía y alimentación en conjunto con las realidades y necesidades de las poblaciones en Colombia. Recuperado el 10 de diciembre 2022 de Javeriana: <https://www.javeriana.edu.co/hoy-en-la-javeriana/tag/estados-unidos/>

Vázquez, L. L., Y. Matienzo, J. Alfonso, M. Veitía, E. Paredes y E. Fernández, (2012b). Contribución al diseño agroecológico de sistemas de producción urbanos y suburbanos para favorecer procesos ecológicos. Revista Agricultura Orgánica. La Habana. 18 (3): 14-18.

Vertucci, C.W. y Ross, E.E. 1990. Theoretical basis of protocols for seed storage. *Plant Physiology*. 94:1019-1023.

Valdeperes Ramon, B. (2010). Germinator. Oficina Europea de Patentes. EP2210462. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=EP11157944&_cid=P12-LK96B9-29642-1

Volgin, A.Y. et al. (2017). COMPACT STANDARDIZED GRAIN GERMINATOR. Estados Unidos de América. WO2017111897. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2017111897&_cid=P12-LK94ZE-12554-1

Willan, R. L. (1991). Guía de Manipulación de Semillas Forestales con especial referencia a los Trópicos. Centro de Semillas Forestales de DANIDA. Estudio FAO MONTES 20/2. 510 pp.

WIPO Organización Mundial de la Propiedad Industrial.

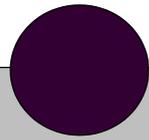
Xinyong, L. (2004). Seed Germinator. China. CN1530001. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN82723172&_cid=P12-LK95Y6-24568-1

Yoshimasa, Y. (1994). Method for germinating seed and raising seedling. Japón. JP1994197644. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=JP266236244&_cid=P12-LK966A-27828-1

Yubing, H. (2021). Stacked Seed Germinator. China. CN113016268. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN329976497&_cid=P12-LK9621-26274-1

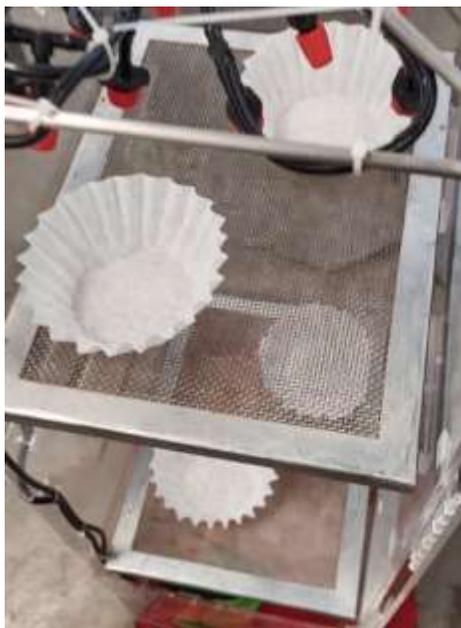
Yunming, Z. (2020). Seed Germinator. China. CN212013525. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN313375059&_cid=P12-LK95ZR-25313-1

赵知渊 (2016). 用于风力发电机组的移动式无线传输人机对话装置. China. CN205423082. URL: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN177056076&_cid=P12-LK96LN-33207-1



Anexo

Anexo I Fotos del crecimiento de germinados



Preparación del germinador.



Preparación del germinador.



Preparación de las semillas.



Preparación de las semillas.



Colocación de semillas en el germinador.



Colocación de semillas en el germinador.



Germinador en operación.



Colocación de semillas en el germinador.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



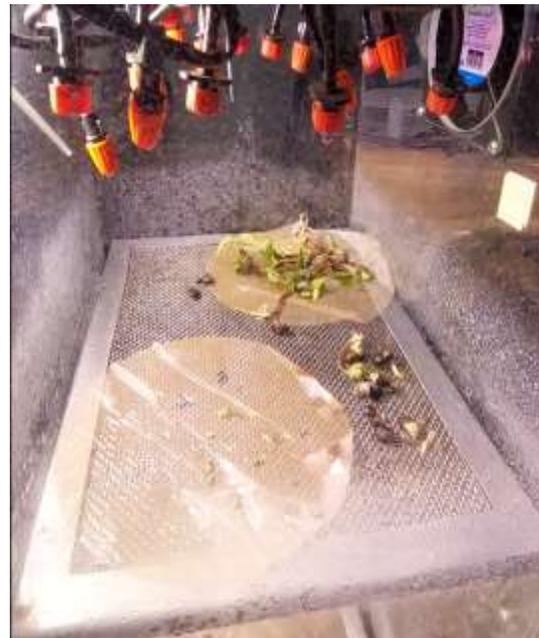
Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Crecimiento del germinado.



Medición de crecimiento del germinado.



Medición del crecimiento del germinado.



Tablero de operación del germinador.



Tablero eléctrico.



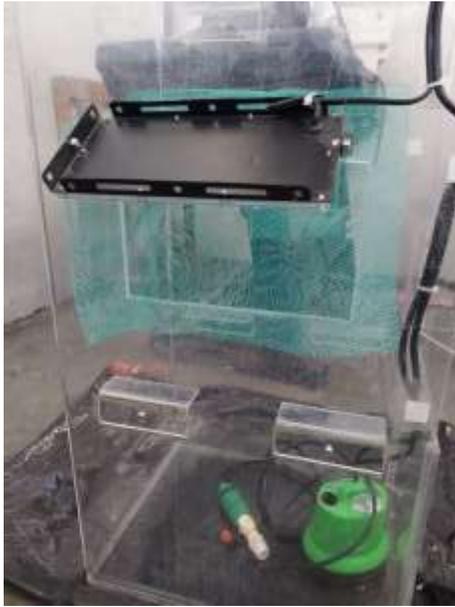
Tablero eléctrico.



Lámparas de germinador.



Lámparas de germinador.



Lámparas de germinador.



Adecuaciones finales de germinador.



Adecuaciones finales de germinador.



Adecuaciones finales de germinador.



Mediciones de Luxes.



Mediciones de Luxes.



Medición de Luxes.



Medición de Luxes.

II Ficha técnica de lámparas para crecimiento de germinados.

Potencia: 150W
 Longitud de onda de luz: 400-700nm
 Fuente de energía: USB

Recommend height and timer

Plant Stage	Height (in)	Timer (hrs)
Seeding	36-60	16-18
Growing	18-36	12-15
Flowering	12-18	10-12

Suggest height: 36-60 in, Suggest time: 16-18 hours
 Suggest height: 18-36 in, Suggest time: 12-15 hours
 Suggest height: 12-18 in, Suggest time: 10-12 hours

Alto valor nominal, ayudar a la planta crecer más rápido, más fuerte

0 inch: 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$
 6 inch: 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$
 12 inch: 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$
 24 inch: 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$

Dimensions: 20.0cm x 9.5cm x 2.5cm
 Weight: 188.0gmm25

Características principales

Marca	CC
Modelo	CBC004-537
Voltaje	110V
Potencia	50 W

Otros

Tecnología de iluminación	LED de cultivo
Diámetro	20 cm
Largo x Altura x Ancho	20 cm x 9.5 cm x 2.5 cm
Tipo de presentación	Lámpara

Descripción de las lámparas
 Tecnología de chip superior – Diseñado inteligentemente, luz de crecimiento LED utilizando chips LED de bajo consumo que los diodos son más grandes y brillantes que el chip LED promedio. Esto da como

resultado luz de crecimiento sea un 20% más PAR (radiación fotosintéticamente activa) y un lumen que las luces LED estándar.

Eficiencia energética– La avanzada tecnología de chip LED de nuestra luz de crecimiento interior LED puede producir lúmenes iguales a una bombilla incandescente de 150 vatios con solo una fracción de la entrada de energía. Las bombillas LED también pueden durar más que las luces de crecimiento tradicionales. Cada una de las luces cubre el espacio de 2 pies x 2 pies. Para una tienda de campaña de crecimiento más grande o espacio de cultivo, simplemente agregue más paneles ligeros para tener suficiente cobertura. Esta luz puede reemplazar una lámpara HPS/MH tradicional de 50W mientras consume solo 27W en total, ahorrando energía hasta un 40%.

Luces de crecimiento de spectrum completas – Las bombillas LED proporcionan una mezcla de tono de color perfecta, igualando el espectro de luz solar y la escala kelvin, para todas las etapas de crecimiento, así como fortalecen la luz roja, azul y UV al mismo tiempo. ECRU Light Panel incluye luz blanca cálida y fresca con luces rojas y azules diversificadas que es perfecta para su propia jardinería de plantas vivas interiores, estantes y cultivo de tiendas de campaña.

Ideal para clonación, vegetación y floración – Gracias al espectro completo de iluminación de luz de cultivo interior LED, es perfecto para usar en todas las etapas de crecimiento de la planta. La luz de crecimiento es perfecta desde la elevación de plantas de clon a la floración sin intercambiar luces. Ya sea que esté cultivando tomates, vegetales, fresas, pimienta, microverde, hidroeléctrico o hierba, ECRU crece ligeramente cubre todas las necesidades de crecimiento escéptica y es una mejor adición para altos rendimientos.

Fácil de instalar – El panel de luz de crecimiento ofrece muchos métodos diferentes de instalación. Se puede instalar fácilmente en brazos rotacionales de 180o, techos, postes y paredes. También se puede instalar utilizando la suspensión para un ajuste de altura más preciso.