

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Cuantificación económica del ahorro de agua generados a partir de mediciones de humedad por medio de sensores digitales**

**Por:**

**Julian Ruiz Rios**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Cuantificación económica del ahorro de agua generados a partir de mediciones de humedad por medio de sensores digitales**

**Por:**

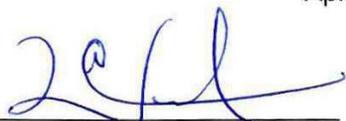
**Julián Ruiz Ríos**

**TESIS**

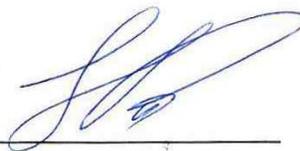
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

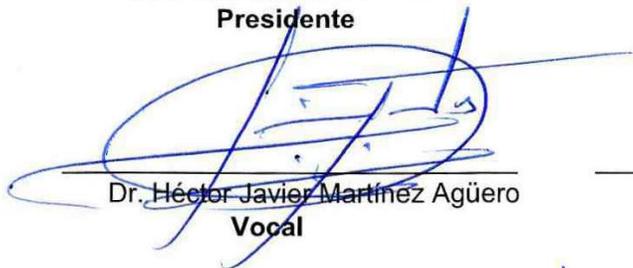
Aprobado por:



M.C Rafael Ávila Cisneros  
**Presidente**



Dr. Juan Leonardo Rocha Quiñones  
**Vocal**



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero  
**Vocal**



Dr. Anselmo González Torres  
**Vocal suplente**



M.E. Javier López Hernández  
**Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Cuantificación económica del ahorro de agua generados a partir de mediciones de humedad por medio de sensores digitales**

**Por:**

**Julián Ruiz Ríos**

**TESIS**

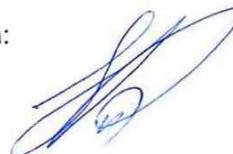
Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobado por el Comité de Asesoría:



M.C. Rafael Ávila Cisneros  
**Asesor Principal**



Dr. Juan Leonardo Rocha Quiñones  
**Coasesor**



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero  
**Coasesor**



Dr. Anselmo González Torres  
**Coasesor**



M.E. Javier López Hernández  
**Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024

## **AGRADECIMIENTOS.**

**A Dios**, por la gran fe que le tengo, por darme la oportunidad de vivir y disfrutar mi proceso como estudiante y superar los momentos difíciles que he presentado. Por darle vida, sustento económico y uso de razón a mi familia para apoyarme en mis estudios.

**A mis padres**, Susana Rios Ramírez y Bernardo Ruiz Pacheco, por darme la vida, brindarme apoyo emocional y económico. Por tenerme la confianza y creer en mí.

**A mis hermanos**, Erick Ruiz Rios por darme el ejemplo de seguir estudiando y asesorarme cada que lo necesito. A Liliana Ruiz Rios por motivarme a superarme y darle el mismo ejemplo.

**A Don Antonio Narro**, por el espacio que obtuve en nuestra Alma Mater y ser beneficiado con todos sus apoyos.

**A Areli Martínez Luna**, Por acompañarme de principio a fin en esta etapa como universitario, por apoyarme en mis decisiones y escucharme en los momentos difíciles y felices.

**A la familia Ruiz Pacheco**, por su apoyo incondicional.

**Al M.C. Rafael Ávila Cisneros**, por haber sido mi profesor, aceptarme como tesista y tenerme la paciencia y dedicación durante este proceso.

**A todos los maestros del departamento de Fitomejoramiento**, por compartirme sus experiencias y conocimientos académicos.

**A mis amigos**, Alexander Gómez Aparicio, Luis Aguilar Santiz, Antonio Mendieta, por contar con su apoyo.

**Al M.C. Heriberto Quirarte**, por ser mi tutor, aconsejarme y compartirme de sus conocimientos.

## **DEDICATORIAS.**

**A Dios,** Por darme salud y brindarme las cualidades que caracteriza a un estudiante, guiándome por un buen camino.

**A mis padres,** Susana Rios Ramírez y Bernardo Ruiz Pacheco, que gracias a su sacrificio, esfuerzo e inversión logramos que fuera posible.

**A mis hermanos,** Erick Ruiz Rios y Liliana Ruiz Rios, Por estar conmigo durante esta etapa y darme ánimos.

**A Don Antonio Narro,** por su gratitud de hacer una Universidad de esta magnitud.

**A mis abuelos,** Lucia Pacheco, David Ruiz Cruz y Pedro Rios Rios, por sus consejos, oraciones y buenos deseos.

**A mi familia,** por su apoyo en todo momento.

## **RESUMEN.**

En las instalaciones del centro de investigaciones Básica y Aplicada ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad laguna, durante el ciclo de verano a otoño del año 2022 se hizo la investigación de la variedad de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) pinto villa. La cual consistió en la implementación de 2 áreas cultivables de 60 m<sup>2</sup> cada una, con diferentes sistemas de riego (riego por inundación y microaspersión) teniendo un total de 120 m<sup>2</sup>, con la finalidad de realizar una comparación de grano seco; los cuales fueron monitoreados con (tecnología IoT) el día 22 de agosto del 2022, evaluando de forma precisa el % de humedad y temperatura del interior del suelo 0-30, utilizándolas como variables. La comparación de medias para los grupos pequeños se hizo con ayuda de la prueba t de student, llegando a la hipótesis: “La cosecha del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad pinto villa, utilizando el sistema de microaspersión, genera una producción de grano seco altamente competitiva, reduciendo el consumo de agua y gasto económico destinada al riego “. En los datos obtenidos se realizó un ajuste de regar cada semana debido a él % de humedad de los sensores digitales promediaba un 49.5% tomando la decisión de regar cada dos semanas obteniendo un % de humedad cercana al 20% (siendo el porcentaje deseado en la aplicación de riego auxiliar para ambos sistemas de riego). En la producción por ambas áreas cultivables fueron parecidas, por lo que no se obtuvo gran diferencia. Teniendo como referencia los costos en ahorro de agua y pagos proyectados por parte del sistema municipal de agua y saneamiento (SIMAS- rural), se obtuvo ahorros del 50%. Por medio de los datos obtenidos de la tecnología IoT, la hipótesis y objetivos implementados en la investigación fueron aceptados.

### **Palabras clave:**

Irrigación, Agricultura inteligente, Internet de las cosas, Sensores, Frijol

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Hipótesis.....</b>	<b>2</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.- Importancia del cultivo de frijol.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Características del frijol (Phaseolus vulgaris).....</b>	<b>4</b>
<b>2.3.- Aporte nutricional del frijol.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4.- Producción mundial.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.- Producción nacional.....</b>	<b>6</b>
<b>2.6.- Producción de los municipios en la comarca lagunera.....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.- Variedades con mayor adaptación de frijol en zonas áridas y semiáridas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.1.- Beneficios de sembrar frijol en zonas áridas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.2.- Inconvenientes de cultivar frijol en zonas áridas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.8.- Características agronómicas de la variedad pinto villa.....</b>	<b>9</b>
<b>2.9.- Características agronómicas del frijol criollo.....</b>	<b>9</b>
<b>2.10.-Características agronómicas de la variedad pinto saltillo.....</b>	<b>10</b>
<b>2.11. Características agronómicas de la variedad de frijol pinto centauro.....</b>	<b>10</b>
<b>2.12. Características agronómicas del frijol negro.....</b>	<b>10</b>
<b>2.13.- Origen.....</b>	<b>11</b>
<b>2.14.- Clasificación Taxonómica del frijol.....</b>	<b>11</b>
<b>2.15.- Características morfológicas del frijol.....</b>	<b>11</b>
<b>2.15.1.- Planta.....</b>	<b>12</b>
<b>2.15.2.- Raíz.....</b>	<b>12</b>
<b>2.15.3.- Hojas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.15.4.- Tallo.....</b>	<b>12</b>
<b>2.15.5.- Flor.....</b>	<b>13</b>

2.15.6- Vainas.....	13
2.15.7.- Semilla.....	13
2.16. Tipo de suelo del frijol.....	14
2.17. Etapas de desarrollo del frijol.....	14
2.18. Fijación biológica de nitrógeno.....	15
2.19. Manejo de agua.....	15
2.20. Cosecha.....	15
<b>II. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1- Ubicación geográfica del diseño experimental.....	16
3.2- Localización del experimento.....	16
3.3.- Material vegetativo.....	16
3.4.- Acondicionamiento del terreno.....	16
3.5.- Siembra.....	16
3.6.- Labores culturales.....	16
3.7.- Riego.....	16
3.8.- Fertilización.....	17
3.9.- Aplicación de insecticidas.....	17
3.10.- Cosecha.....	17
3.11.- Variables evaluadas.....	17
3.12.- Ejotes por mata.....	17
3.13.- Promedio de vainas secas por planta.....	17
3.14.- Producción de grano seco en gramos.....	18
3.15.- Procedimiento y Diseño Experimental.....	18
<b>III RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>IV. CONCLUSION.....</b>	<b>28</b>
<b>V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>29</b>

## INDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1</b> Distribución de dispositivos de adquisición de datos.....	19
<b>Figura 2</b> Comunicación y transporte de los datos del cultivo.....	20

## INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b> Prueba t para No Promedio de ejotes por mata. ....	22
<b>Tabla 2</b> Prueba t para No Promedio de Vainas Secas por planta.....	22
<b>Tabla 3</b> Prueba t para No de plantas promedio por montón de plantas de frijol. .	23
<b>Tabla 4</b> No de plantas totales por superficie y Producción de grano seco en gramos .....	24
<b>Tabla 5</b> Análisis de la prueba t para comparar producción de grano seco entre los 2 sistemas de riego para los “borregos” formados. ....	24
<b>Tabla 6</b> Análisis de la prueba t para comparar producción de grano seco entre los 2 sistemas de riego para los “borregos” formados. ....	25
<b>Tabla 7</b> Cantidad de agua aplicada en m <sup>3</sup> , y cálculos de costes a partir de precio/m <sup>3</sup> (Según costo de CONAGUA y SIMAS Rural).....	26
<b>Tabla 8</b> Cantidad de agua aplicada en m <sup>3</sup> , y cálculos de costes a partir de precio/m <sup>3</sup> (Según costo de CONAGUA y SIMAS Rural).....	27

## **I. INTRODUCCION.**

Como alimento, el frijol es una proteína importante en México, siendo vulnerable a las sales que contiene el agua y los suelos en donde se cultiva, al igual que periodos de sequía; lo que provoca la disminución de su rendimiento en producción, afectando el mercado nacional e internacional. (Murillo et al., 2000).

Torreón Coahuila pertenece a una zona semiárida desértica, lo cual perjudica a los productores constantemente con los problemas de agua por la mínima captación del recurso hídrico en las presas almacenadoras, convirtiéndose en un área de producción con sistemas de riego dentro de los cultivos. En la actualidad no se cuenta con variedad genética de frijol que se caracterice por su capacidad de aguantar el estrés hídrico. Algunas variedades pintas de ciclo corto son pinto americano, laguna, san Luis, saltillo y villa. Estas variedades son diseñadas para cultivarse con sistemas de riego. (Pedroza et al., 2016).

México es reconocido por su diversidad de frijol que tiene, existen alrededor de 70 variedades de frijol en todo el país. (secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

En el año 2019 en la comarca lagunera, el precio de la cuota del distrito de riego era de \$1,600 pesos mexicano por hectárea, sin importar el cultivo. Este costo cubría los costos de operación sin incluir el sustento de los canales, ni de obras como la perdida de agua que se generaba en la conducción y distribución. Dándonos a entender que contemplando los costos extras generados por las variaciones es de \$0.16 pesos por cada metro cuadrado en riego de gravedad sin tomar en cuenta el tipo de cultivo. (Ramírez et al., 2019).

### **1.1 Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Implementar en dos áreas de 60m<sup>2</sup> un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) perteneciente a la variedad pinto villa, regados por agua rodada y microaspersión.

**Objetivo específico 1:** Evaluar la producción obtenida por ambos sistemas de riego establecidos en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad pinto villa.

**Objetivo específico 2:** Calcular el ahorro de agua y gasto económico generados por los sistemas de riego utilizados.

### **1.2 Hipótesis**

La cosecha del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad pinto villa, utilizando el sistema de microaspersión, genera una producción de grano seco altamente competitiva, reduciendo el consumo de agua y gasto económico destinada al riego.

## **II. REVISION DE LITERATURA.**

Los satélites, sensores, imágenes y datos geográficos, son conjuntos de tecnología que caracteriza a la agricultura de precisión, recopilando información de variación de suelo en áreas cultivables, ayudándonos en la densidad y fecha de siembra con su respectiva dosis de fertilización que debemos de utilizar de forma precisa. (Hernández et al., 2020)

La tecnología utilizada en la agricultura nos ayudara en el aumento de la calidad y rendimiento para minimizar los gastos económicos. (Sabri et al., 2018).

La integración de tecnologías como lo es el internet de las cosas (IoT) en la agricultura aporta crecimiento asegurando la alimentación en las naciones. (Espinosa et al., 2021).

Los agricultores han encontrado la forma de tener el mayor provecho al uso y desarrollo de la tecnología IoT (internet de las cosas), la tecnología IoT accede a la conexión de objetos equipados de la tecnología para poder conectarse a la red de internet. (Bravo, 2017).

En Perú se realizó una investigación utilizando tecnología IoT (internet de las cosas). Se relaciono en frijol (*Phaseolus vulgaris*) colocando sensores para monitorear factores ambientales como lo es la temperatura, humedad, presencia de lluvia y humo. Los datos obtenidos automáticamente se enviaron a la nube por medio de internet, con el objetivo de que el usuario tenga la información en tiempo real, logrando una conexión con el dispositivo de medición de forma inalámbrica. (Mora y Rosas, 2019).

La agricultura consume una gran cantidad de agua durante todo el ciclo del cultivo para la producción de alimentos, se estima que a nivel mundial alrededor de un 70% de agua dulce se utilizan en labores agrícolas. (Aguilar, 2020). La tecnología IoT nos brinda la ayuda de monitorear en tiempo real, la utilización de gasto de agua necesaria para las actividades agrícolas para reducir este impacto. (Khokhar, 2017).

Con ayuda de los sensores de (Frequency Domain Reflectometry) y Time Domain Reflectometry se evaluó en un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) tres láminas de riego con suelos diferentes, midiendo la humedad de 12 centímetros de profundidad en maceteros. El sensor FDR presentó la mayor variabilidad de humedad. (Mata, 2021).

En el año 2011, Ugalde realizó una investigación en la comparación de dos sistemas de riego para evaluar la producción de frijol, los sistemas de riego que se compararon fueron por agua rodada y riego por goteo. Los riegos se realizaron desde la plántula hasta el llenado de vaina, se aplicaron 5 riegos por agua rodada distribuidos en el ciclo del cultivo, en riego por goteo se realizó cada 5 días, teniendo un total de 16 riegos, los resultados fueron que el riego por goteo presentó un 85% menor comparada al riego de agua rodada. (Ugalde et al., 2011).

El riego por goteo muestra un gasto mínimo comparado con cualquier otro sistema de riego. (Haynes y Swift, 1987).

Relacionando las investigaciones sobre los costos de riego, se relaciona con el precio de sombra que los agricultores y estudios comparten. Como se muestra a continuación. (Granada, 2021).

Se le conoce como precio de sombra o precio de cuenta a la medida monetaria del cambio en pro del bienestar de la comunidad, los precios comerciales no se deben utilizar para la medición de consecuencias sociales de un proyecto. Relacionando los precios de sombra en México se cobra al uso de metro cúbico de agua. (Zabalza, 1972).

Godínez y colaboradores, crearon modelos decrecientes derivadas en la rentabilidad del precio del agua por gravedad, generando un precio sombra para

riego por bombeo de \$0.73 pesos por metro cubico, para riego por gravedad de \$0.25 pesos por metro cubico. En el año 2002 el precio para los usuarios era de \$0.05 pesos por metro cubico. (Godínez et al., 2007).

En el año 2019 en la comarca lagunera, el precio de la cuota del distrito de riego era de \$1,600 pesos mexicano por hectárea, sin importar el cultivo. Este costo cubría los costos de operación sin incluir el sustento de los canales, ni de obras como la perdida de agua que se generaba en la conducción y distribución. Dándonos a entender que contemplando los costos extras generados por las variaciones es de \$0.16 pesos por cada metro cuadrado en riego de gravedad. (Ramírez et al., 2019).

En el acuífero de Acámbaro Guanajuato el precio por m<sup>3</sup> es de \$1.03 pesos, siendo el mismo precio para los usuarios en el 2021. (Murillo y pareles, 2021).

### **2.1.- Importancia del cultivo de frijol.**

Lo que abarca las leguminosas, el frijol es primordial en el consumo humano en todo el mundo. En los tiempos prehispánicos en México ya tenía mayor relevancia alimenticia, social y económica. El frijol junto al maíz son de los principales alimentos que nos caracteriza como cultura mexicana y único abastecimiento de proteína para sectores pobres. En las labores que caracterizan al cultivo otorga una fuente de ocupación e ingresos para el sector primario en donde participan activamente las mujeres y aproximadamente un 50% de productores son apoyados por sus esposas en trabajo de campo. Actualmente México es reconocido por la domesticación y diversidad genética del frijol. (Ayala et al., 2021).

El cultivo de frijol dentro de sus atributos es su valor nutritivo y medicinal, por lo que lo hace apto para el consumo humano al otorgarnos proteína y carbohidratos en las semillas. Como aspectos terapéuticos en el consumo es la reducción de colesterol, cáncer, diabetes, etc. También es una planta con muchas variedades que se caracterizan por su adaptación en diferentes tipos de suelo y clima. (Ávila et al., 2023).

### **2.2. Características del frijol (*Phaseolus vulgaris*).**

El frijol variedad pinto villa se caracteriza por tener una floración a los 44 días, alcanza su madurez fisiológica a los 83 días, otorga un rendimiento de grano de 63

gramos por metro y una biomasa de 116 gramos por metro. Su porcentaje de índice de cosecha es de 54. Su tasa de llenado de grano de gramo por metro cuadrado por día es de 1.6 y la severidad de pudrición de raíz a los 28 días es de 4.9. (Allende et al., 2005).

El frijol pinto villa tiene una adaptación en el altiplano Semiárido de México, con un rendimiento por hectárea en temporal de 1723 kilogramos y en riego de 2500 kilogramos. Su crecimiento es indeterminado, la respuesta al fotoperiodo es en días cortos, es tolerante a las resistencias de sequía, antracnosis, roya, pudriciones de raíz moderada y susceptible al tizón. Su madures es entre los 90 a 104 días después de la siembra. (Cruz et al., 2021).

Es una semilla de color beige con rayas color café. Cada semilla pesa aproximadamente 0.35 gramos y contiene un 23% de proteína. Su tiempo en anaquel es educido, genera oscurecimiento y envejecimiento acelerado en la testa. (Cruz et al., 2021).

### **2.3.- Aporte nutricional del frijol.**

Dentro de las principales variedades consumidas de frijol en México es el negro, nos aporta, energía, carbohidratos, grasas. Aporta nutrientes como proteínas, antioxidantes, fibra, minerales. Por cada 100 gramos de frijol nos da aproximadamente 8.86 gramos de proteína, en comparación de la carne, el frijol contiene poca grasa saturada y no tiene colesterol, lo cual lo hace una proteína saludable. Como antioxidante que presenta es el ácido fítico, que ayuda a reducir el contraer Cáncer. Las fibras soluble e insoluble las podemos encontrar en el frijol. La soluble reduce los niveles de colesterol y es consumible por pacientes diabéticos. La fibra insoluble evita el estreñimiento y regula el sistema digestivo. Los minerales con los que cuenta el frijol negro son, magnesio, potasio, hierro, calcio, zinc y fosforo. (CIAD, 2020).

Gracias a su contenido en proteínas, el frijol es considerado una fuente eficaz de energía. Relacionando la cocina y preparación de alimentos para uso humano es utilizado nacional e internacionalmente en acompañamientos en diferentes platillos.

Como uso medicinal lo utilizan para la diabetes y tratar enfermedades reumáticas. (Ávila, 2015).

#### **2.4.- Producción mundial.**

El frijol es de las leguminosas con mayor prioridad como fuente de alimento en la sociedad, se siembra alrededor de 129 países incluyendo todos los continentes. Se registro que en el año 2020 hubo una producción mundial de 29.02 millones de toneladas, lo cual el rendimiento promedio de frijol mundialmente es de aproximadamente 0.79 toneladas por hectárea. Los principales países productores en ese año fueron: india con un 21%, Brasil con 10%, Myanmar con 9% y todos los demás países representan el 4%. En América la producción de frijol representa el 29%. (Bucardo et al., 2023).

#### **2.5.- Producción nacional.**

En el año 2023 la producción agrícola nacional de todas las variedades de frijol en ambos ciclos y modalidades de riego y temporada, se sembró aproximadamente una superficie de 1,091,125.69 hectáreas teniendo como producción 723,642.32 toneladas. Siendo Sinaloa el principal productor con un total de 172,161.73 toneladas en una superficie de siembra de 87,663.28 hectáreas, enseguida de Zacatecas con un aproximado de 146,973 toneladas en una superficie de 314,987.69 hectáreas de siembra. En tercer lugar, está el estado de Nayarit con una producción de 69,349.05 toneladas con una superficie de siembra de 54,734.50 hectáreas. (SIAP, 2023).

El estado de Oaxaca siembra aproximadamente 32,774.07 hectáreas teniendo una producción de 23,489.07 toneladas. Coahuila siembra 304.50 hectáreas teniendo una producción de 229.06 toneladas. (SIAP, 2023).

Dentro de las principales variedades con mayor producción el frijol pinto saltillo con una superficie de 299,503 hectáreas y una producción de 102,345.75 toneladas, enseguida del Frijol azufrado con 101,409.24 toneladas y 59,266.42 hectáreas de siembra. En tercer lugar, Frijol otros negros con un aproximado de 89,787.48 toneladas en una superficie sembrada de 140,036.94 hectáreas. (SIAP, 2023).

## **2.6.- Producción de los municipios en la comarca lagunera.**

La producción agrícola en la laguna Coahuila en el año 2023 de todas las variedades de frijol en ambos ciclos y modalidades de riego y temporada, se sembró aproximadamente 121.50 hectáreas de frijol teniendo una producción de 119.77 toneladas. El mayor productor es el municipio de San Pedro con aproximadamente 100 toneladas con una superficie de siembra de 96 hectáreas. En segundo lugar, con 9.60 toneladas de producción y una superficie de siembra de 16.50 hectáreas le pertenece al municipio de Viesca. En tercer lugar, con una producción de 5.65 toneladas y una superficie de siembra de 5 hectáreas le pertenece al municipio de Francisco I. Madero. Por último, lugar con una producción de 3.72 toneladas y una superficie de siembra de 4 hectáreas le pertenece a Torreón. (SIAP, 2023).

La principal variedad con 63.97 toneladas y 61.50 hectáreas de siembra es de frijol pinto nacional, y con 55.80 toneladas y una superficie de siembra de 60 hectáreas pertenece al frijol pinto americano. (SIAP, 2023).

## **2.7.- Variedades con mayor adaptación de frijol en zonas áridas y semiáridas**

En México el frijol es fundamental para nuestra alimentación y nutrición, es de los cultivos que más superficie ha registrado en siembra, ocupando el segundo lugar, y el sexto lugar en producción. El 85% del cultivo de frijol se siembra de forma temporal, por lo que normalmente el cultivo se ha visto perjudicado con los problemas de sequía. (Pedroza et al., 2016).

Entre las principales variedades de frijol que se han trabajado donde es normal los problemas de sequía y fertilidad es el frijol yorimon. Dentro las características agronómicas de este cultivo es que ocupa suelos migajón arenoso y arcilloso, con un pH neutro. (Murillo et al, 2000).

Los problemas de sequía perjudican al desarrollo de cultivo, viéndose reflejadas con un menor rendimiento en la producción. Pinto villa es de las variedades que ha mostrado mayor rendimiento en estas situaciones, caracterizándose en el grupo de genotipos con conductancia estomacal alta, mayor rendimiento y mayor actividad fotosintética. La variedad pinto villa tradujo una menor pérdida de agua ya que transpiro en menor cantidad, teniendo mayor provecho de la fotosíntesis y viéndose

reflejada en el rendimiento. Pinto villa y Pinto mestizo son de las variedades que tienen mayor adaptabilidad en climas que presenta la región lagunera. (Chávez y Álvarez, 2012).

#### **2.7.1.- Beneficios de sembrar frijol en zonas áridas.**

La sequía y desertificación son aspectos preocupantes en México, esto implica a realizar cambios y buscar alternativas para no dejar de producir y realizar la agricultura sustentable. Apoyándonos con la tecnología y el ahorro de agua. Tener estrategias para mejorar los cultivos es fundamental para la producción en las regiones áridas. (secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

La producción en las zonas áridas ayuda a realizar la selección de frijol que cumplan las características necesarias para ser cultivadas en esa zona, como resistencia y genotipos deseables. Para posteriormente utilizarlas como líneas. Las plantas de frijol que son resistentes están ligadas con el uso necesario del agua y la producción de biomasa, con el crecimiento de materia seca a partir del tallo y hojas, hasta la formación y producción de granos. Teniendo vainas de buenas características agronómicas. (Polonia, 2016).

#### **2.7.2.- Inconvenientes de cultivar frijol en zonas áridas.**

En estados como Chihuahua y Durango, tenían el compromiso de encontrar variedades de frijol pinto de mayor calidad en comparación a la variedad pinto villa para posteriormente sustituirla. Por lo que la variedad pinto villa tiene buenas características agronómicas para las zonas áridas como lo es el rendimiento, pero su vida de anaquel es muy corta ya que su oxidación en el grano es rápida, disminuyendo su venta en el mercado. (Ávila et al., 2011).

La variedad pinto saltillo cumple buenas características para ser cultivada en zonas áridas y una vida de anaquel duradera, disminuyendo el problema durante el almacén de la semilla y la exportación. (Ávila et al., 2011).

Los problemas agrícolas comunes en las zonas áridas se presentan por falta de lluvia y poca materia orgánica. Los agricultores tienen problemas con el rendimiento de sus cultivos, derivándose de los suelos compactados, dificultando romper la capa

de arado, perjudicando al desarrollo y penetración de las raíces e infiltración de agua. (Flores & García, 2021).

### **2.8.- Características agronómicas de la variedad pinto villa.**

La variedad pinto villa tiene resistencia a sequías, calidad de grano y rendimiento. En México fue de las variedades más sembradas en las zonas semiáridas. En el 2003 se registró que en Chihuahua se sembró 60 mil hectáreas y en Zacatecas y Durango 250 mil hectáreas. (Acosta et al., 2007).

Pinto villa suele ser tolerante a la enfermedad fúngica como Antracnosis, roya y pudriciones de raíz parcialmente sensible a Tizón común. (secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Las características agronómicas de la variedad pinto villa son que, su color de hipocótilo es verde al igual que sus hojas ligeramente más bajo, sus alas y estandarte de la flor son blancas, cuando sus vainas aun no alcanzan la maduración presenta un color rojo beige- grisáceo moteado de café, su floración la alcanza alrededor de los 43 días y su madurez fisiológica entre los 90 a 104 días, su crecimiento es indeterminado. (Acosta et al., 2007).

Alcanza una altura de 78 centímetros, la forma característica de la semilla es arriñonada y cada semilla alcanza un peso de 0.35 gramos. La variedad de pinto villa tiene una reacción sensible al fotoperiodo. (Acosta et al., 2007).

### **2.9.- Características agronómicas del frijol criollo.**

El frijol criollo son herencia que los campesinos siembran generación tras generación con sus mismas familias y se caracteriza por el origen de la comunidad. Usualmente es una semilla que no se ha alterado genéticamente. (Guzmán y Paredes, 1998).

La semilla de frijol criollo al no ser modificada genéticamente, suele tener un rendimiento bajo, su ciclo biológico es largo y no son tolerantes a las plagas y enfermedades. (Cid et al., 2014).

### **2.10.-Características agronómicas de la variedad pinto saltillo.**

Las principales características que favorecen a la variedad pinto saltillo fue la resistencia a la sequía, al igual que el oscurecimiento lento de la semilla, mayores beneficios y cocción fuera más rápida. (Sánchez et al., 2009).

Pinto saltillo es una variedad atractiva para el consumidor, entro de ellas el color del grano, los productores prefieren esta variedad por su menor oscurecimiento durante el almacén, haciendo que mantenga su valor económico y siendo más rentable a comparación de otras variedades de frijol pinto. (Sánchez et al., 2009).

Las fechas que no re recomienda sembrar la variedad pinto saltillo porque el crecimiento de desarrollo se atrasa, son entre el mes de abril y junio. (secretaria de agricultura y desarrollo Rural, 2024).

Dentro de las características de la variedad pinto saltillo, el color del grano es crema claro con rayas café e hilo amarillo, su forma es transversalmente elíptica y arrugada, cada semilla llega a pesar aproximadamente 0.32 gramos, la floración comienza entre los 38 y 60 días después de haber sembrado, su crecimiento es por enredaderas con guías, su madures fisiológica entre los días 87 y 115. Se siembra con sistema de riego en temporadas que los días son más largos y calurosos, en un rango aproximado de 14 horas de luz solar y temperaturas elevadas a más de 25 °C, pinto saltillo es sensible al fotoperiodo. Es tolerante a la antracnosis, roya y bacteriosis. (Sánchez et al., 2006).

### **2.11. Características agronómicas de la variedad de frijol pinto centauro.**

Se registró en el año 2010 en el INIFAP de durango, el frijol pinto centauro es una cruce de pinto mestizo y pinto saltillo. Pinto centauro es superior por aproximadamente 4 días en precocidad en comparación de pinto saltillo. Su crecimiento es de enredadera indeterminada con guías cortas, es tolerante a hongos como antracnosis, roya, tizón y pudrición de raíz. Su floescencia es a los 38 días aproximadamente después de la siembra, su maduración la alcanza a los 90 días. La semilla es elíptica y un aspecto reniforme. (Rosales et al., 2018).

### **2.12. Características agronómicas del frijol negro.**

Es la variedad que mayor se solicita en México. (López et al., 2012).

Se caracteriza por el alto consumo en el centro y suroeste en México. El precio del frijol negro es más barato a comparación de otras variedades de frijol del norte del país. (CIAD, 2020).

Dentro de sus beneficios del frijol negro es que nos aporta durante el consumo proteína, antioxidantes, fibra, minerales, etc. Aporta 8.86 gramos de proteína por cada 100 gramos de frijol, el antioxidante presente es el ácido fítico, presenta fibra soluble e insoluble y minerales como potasio, hierro, calcio, zinc y fosforo. (CIAD, 2020).

### **2.13.- Origen.**

Mediante estudios muy profundizados, hay evidencias que su origen proviene entre Jalisco y el estado de Oaxaca. (Hernández et al., 2013).

### **2.14.- Clasificación Taxonómica del frijol.**

En 1753 Linneo destino el nombre del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el frijol es perteneciente al reino Plantea, su división es Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Fabales, familia Fabaceae, genero *Phaseolus*, especie *P. Vulgaris*. (Ulloa et al., 2011).

### **2.15.- Características morfológicas del frijol.**

La morfología es la encargada de estudiar cada órgano de la planta. Cuentan con caracteres constantes como el taxon y variedad, en los caracteres variables, el genotipo y ambiente variable. De lo que abarca el estudio, describe la raíz, tallo, ramas, hojas, inflorescencia, flor, fruto, semilla. (López et al., 1985).

Se caracteriza por ser una planta anual de crecimiento rápido, sus raíces son ramificadas, no penetran tan profundo y se crean raíces secundarias. Su tallo es herbáceo con hojas simples, cuenta con flores de colores blancas, purpura, rosado y azul claro, dependiendo de la variedad, su fruto son las vainas con semillas de forma oblonga que contienen alto contenido de proteína. El cultivo suele sobrevivir en diferentes condiciones, no soporta heladas. (López et al., 1985).

**2.15.1.- Planta.**

Es herbácea, que en su total crecimiento alcanza una altura de 50 a 70 cm, su raíz es ramificada no tan profunda, sus tallos son delgados color verde, sus hojas son trifoliadas, ápice acuminado. (SIAP, 2016).

Durante el desarrollo del cultivo, se puede adaptar a temperaturas de 10 a 27 °C, es preferible sembrarse en suelos de textura ligera con un buen drenaje. Su rango de pH es entre 6.5 y 7.5, pero al igual puede adaptarse a terrenos con pH de 4.5 a 5.5. (SIAP, 2016).

**2.15.2.- Raíz.**

A partir de la radícula del embrión se desarrolla el sistema radical, para después convertirse en raíz principal y enseguida las raíces secundarias que suelen ser de 3 a 7, posteriormente la formación de raíces terciarias y pelos absorbentes. Comúnmente están a una profundidad de aproximadamente 30 centímetros. (Fernández et al., 1986).

Su crecimiento de los vasos de la xilema se compone por protoxilema y metaxilema. La metaxilema son vasos grandes que conduce el agua. (Barrios et al., 2011).

**2.15.3.- Hojas.**

Al emerger la planta se muestran los cotiledones, en donde se presentan las hojas cotiledonarias de color verde, las hojas verdaderas que se caracterizan por ser simples y unifoliadas. Las trifoliadas se ubican en los nódulos subsecuentes, son responsables de formar el dosel de la planta de frijol. Las hojas verdaderas trifoliadas están formadas por tres folíolos, dos de ellos asimétricos y acuminados, se ubican en forma lateral. (Ávila et al., 2015).

En el frijol hay hojas simples y compuestas. Su ciclo en las hojas termina cuando la planta llega al límite de desarrollo. (Fernández et al., 1986).

**2.15.4.- Tallo.**

Su crecimiento del tallo es mediante el epicotilo durante la germinación. El tallo es principal cilíndrico con pubescencia y pelos uncinulados de color verde. El crecimiento se clasifica por determinado o indeterminado, dependiendo de su zona y hábito de crecimiento. Alcanza una altura de aproximadamente 20 centímetros y

las variedades de frijol que son arbustivas, su altura es superior a los 100 centímetros. Los tallos pueden variar, desde ser erectos, semi erectos, rastrero, semi rastrero y trepador. (Ávila et al., 2015).

#### **2.15.5.- Flor.**

Es de tipo papilionácea, durante el crecimiento de la planta, podemos presenciar la floración por medio de el botón floral con un color verde, o cuando está completamente abierta de colores blanco, morado, etc. Durante su primer estado de desarrollo es cubierto por bractéolas y en su última etapa la corola sobresale haciendo que las bractéolas cubran el cáliz. (Fernández et al., 1986).

La forma de la flor ayuda a su autopolinización, al realizar la antesis el polen cae naturalmente en el estigma. (Fernández et al., 1986).

#### **2.15.6- Vainas.**

Su fruto de las leguminosas es una vaina que se caracterizan como dehiscente, semi dehiscente o indehiscente. Los frijoles comerciales son de vainas indehiscentes, suelen ser glabras con pelos cortos, cuenta con dos valvas y suturas, una dorsal y ventral, con forma plana o también cilíndrica de 4 a 20 centímetros. La forma de la vaina puede ser recta o encorvada. Dependiendo de la variedad del frijol la vaina puede ser de colores verde, blanco, amarilla. Cada vaina puede llegar a tener desde 3 a 7 semillas. (Ávila et al., 2015).

#### **2.15.7.- Semilla.**

Dependiendo de la variedad de la semilla, puede ser de colores como, amarillas, café, roja, blanca, negro, crema, moradas, pintas e incluso hay semillas con colores combinados. También hay variación dentro del tamaño y forma, algunas más grandes que otras por casi el doble o triple. Esto se debe a gran cantidad de variedad genérica que existen. (Fernández et al., 1986).

El porcentaje de la semilla de frijol de proteína que almacena cada una también es algo variable dependiendo de la especie. Para clasificar la semilla, en México lo hacen relacionado a la coloración y el matiz de testa. Por dentro de la semilla solamente está el embrión que es formado por cotiledones, reservas de nutrición, plúmula, hojas primarias, hipocótilo y radícula. (Valladolid, 2001).

### **2.16. Tipo de suelo del frijol.**

El frijol puede adaptarse en diferentes tipos de suelo, pero es importante seleccionar el tipo de suelo que permita desarrollar la raíz 50 centímetros, para tener el beneficio de una buena nutrición y buena extracción de agua. Se recomienda evitar terrenos con piedras, compactados o impermeables. Es sugerible que los suelos sean sueltos y porosos, con una cantidad de materia orgánica adecuada, esto ayudara al mantenimiento de agua y la filtración a las demás capas profundas, permitiendo mejor aireación para las raíces y microorganismos para la descomposición de materia orgánica y fijación de nitrógeno. La siembra se debe de evitar en suelos pesados ya que la acumulación de agua restringe la aireación en las raíces y beneficia a los patógenos. Los niveles de pH recomendadas para el frijol varían entre 6 y 7.5. (Rosa, 2003).

Regar demasiado al cultivo puede hacer que la cantidad de nitrógeno disminuya. (Hernández, 2009).

### **2.17. Etapas de desarrollo del frijol.**

Consiste es 10 etapas fenológicas, 5 vegetativas y 5 reproductiva. Se toman en cuenta cuando por cada etapa abarca al 50% de la fenología esperada. Durante la primera etapa vegetativa es la germinación con un código de identificación como (V0), en esta etapa la semilla cuenta con las condiciones agronómicas necesarias para realizar la germinación. La etapa (V1) pertenece a la emergencia, se toma en cuenta a partir que los cotiledones estén por la mitad del suelo. La etapa (V2) pertenece a las hojas primarias y se consideran cuando estén extendidas al 50%. La prime hoja y tercera hoja trifoliada (V3, V4), se toman en cuenta cuando estén abiertas al 50%. (Fernández et al., 1986).

La fase reproductiva comienza con la (R5), pertenece a la prefloración y se toma en cuenta cuando la planta cuenta con botones al 50%. Se considera en la etapa de floración (R6), cuando más del 50% de las plantas cuentan con flores abiertas. La formación de vainas (R7) se toma en cuenta cuando al 50% del cultivo le ha aparecido una sola vaina. Se considera llenado de vaina (R8) cuando las semillas han desarrollado al menos en una vaina en el 50% de las plantas. Como última etapa fenológica la maduración (R9) se considera cuando la planta y las vainas han

cambiado de color, la planta pasa de ser verde a comenzarse a secar, las vainas pasan de ser de color verde a obtener un color amarillento, y se toma en cuenta cuando más del 50% del cultivo lo presenta. (Fernández et al., 1986).

### **2.18. Fijación biológica de nitrógeno.**

Las leguminosas como el frijol colaboran con rhizobia que son bacterias del suelo, las leguminosas y rhizobium realizan una simbiosis que consiste en fijar nitrógeno de gran importancia en la ecología. En las raíces del frijol la bacteria de rhizobium impulsa la creación de un nódulo estableciéndose de forma intracelular, la bacteria convierte el nitrógeno de la atmosfera en amonio  $\text{NH}_4^+$  que la planta utiliza durante su crecimiento. Esta simbiosis ayuda a fertilizar el suelo. (Flores, 2015).

### **2.19. Manejo de agua.**

Se recomienda aplicar riego por lo menos 12 a 5 días antes de sembrar, tratando que el terreno se humedezca homogéneamente. Tomando en cuenta el primer riego los demás serán en periodos de 15 a 20 días. El riego no debe de faltar en la etapa de floración y llenado de vainas, por lo que la planta puede estresarse, provocando la caída de flores y vainas. (Sueiro et al., 2011).

Se debe prestar atención que las gotas de agua no perjudiquen en la floración provocando que se despeguen de la planta sobre todo si el riego es por aspersión, se recomienda usar riego por inundación una vez a la semana con un tiempo de 2 horas y más frecuente durante la floración. (Salcedo, 2008).

### **2.20. Cosecha.**

Durante la cosecha, días antes se debe de cortar el riego. Las plantas de frijol se deben de arrancar cuando las hojas tengan una apariencia amarilla y las vainas comiencen a secarse, se recomienda realizarlo temprano para que las vainas totalmente secas no se desgranen, las plantas quedaran expuesta en el sol hasta que llegue el momento que al presionarlas se abran fácilmente. Se deben de guardar en un lugar seco con una humedad no mayor del 12% para evitar plagas como el gorgojo, que son de las plagas principales durante el almacenamiento, provocando pérdidas de hasta un 20% o inclusive perdidas del 100% si no se maneja bien este último proceso. (Lardizábal et al., 2013).

## **II. MATERIALES Y METODOS.**

### **3.1- Ubicación geográfica del diseño experimental.**

El CIBA (centro de investigaciones Básica y Aplicada) esta ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Con dirección, periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, 27054, Torreón Coahuila. A una altura sobre el nivel del mar de 1,120 metros como altitud. Latitud de 25°32' y longitud de 103°21'

### **3.2- Localización del experimento.**

En las instalaciones del centro de investigaciones Básica y Aplicada ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad laguna, durante el ciclo de verano a otoño del año 2022.

### **3.3.- Material vegetativo.**

Durante la investigación se trabajó con semilla de frijol de variedad pinto villa.

### **3.4.- Acondicionamiento del terreno.**

Se realizó manualmente en ambas áreas, consistió en los trazos de medición, la eliminación de maleza para posteriormente aflojar la tierra y formar los bordos con ayuda de azadón y palas.

### **3.5.- Siembra.**

La siembra se realizó manualmente en el ciclo verano- otoño en las instalaciones de CIBA en la UAAAN UL, con surcos de 10 metros lineales y una separación de cada surco de 40 centímetros. Las plantas se sembraron a una distancia entre 25 a 30 centímetros.

### **3.6.- Labores culturales.**

Se realizo la instalación de microaspersores y su monitoreo constante para identificar fallas originadas por la presión de agua, también la formación y desnivel del suelo para facilitar y lograr la inundación por agua rodada. Comúnmente se realizó el deshierbe manual de forma constante para evitar el crecimiento y abundancia de malezas.

### **3.7.- Riego.**

Se implementaron dos sistemas de riego (sistema de riego por microaspersión y agua rodada), cada uno en diferente parcela con las mismas características (60m<sup>2</sup>

con surcos de 10 metros lineales y una separación de 40 centímetros entre cada surco).

Los riegos de auxilio en el área de micro aspersión alcanzo los 1,500 litros de agua (realizados los días lunes de cada semana) y para la zona regada por inundación se utilizó un volumen de 11,000 litros de agua aplicados cada 3 semanas.

### **3.8.- Fertilización.**

Durante la fertilización se ocuparon los productos como MAP, UREA, triple 17, aplicados por fertirriego en 200 litros de agua.

### **3.9.- Aplicación de insecticidas.**

Las aplicaciones se realizaron de manera preventiva, aproximadamente 15 días después de la germinación, para plagas como araña roja y mosquita blanca. Se realizaron 2 aplicaciones de abamectina con intervalos de 6 días y cada que había presencia mínima de plaga.

### **3.10.- Cosecha.**

Los inicios de la cosecha se realizaron cuando la vaina había cambiado de verde amarillento a color café oscuro con características de sequedad con tostado y semillas despegadas de la vaina. Las plantas y vainas que aún permanecían verdes, se colocaron de manera que los rayos del sol les tocara directamente para acelerar su secado.

### **3.11.- Variables evaluadas.**

Con ayuda de 8 sensores pertenecientes a la tecnología IoT (Internet de las cosas), los cuales fueron instalados en el cultivo, se realizó una captura de datos del desarrollo de la planta, numero de vainas y grano seco.

### **3.12.- Ejotes por mata.**

De 12 plantas de frijol que fueron regadas por microaspersión, se obtuvo un e de 35 ejotes por mata. Por parte de 10 plantas de frijol que fueron evaluadas por inundación se obtuvo un promedio de 46 ejotes por planta.

### **3.13.- Promedio de vainas secas por planta.**

Las plantas con riego por microaspersión obtuvieron un promedio total de vainas secas por planta de aproximadamente 33 vainas, comparadas con las plantas con

riego por inundación con un promedio de 31 vainas secas por planta. Mostrando una diferencia mínima, favoreciendo el riego por microaspersión.

### **3.14.- Producción de grano seco en gramos.**

De 165 plantas que fueron regadas por microaspersión en una superficie de 60 m<sup>2</sup> obtuvo una producción total de 4000 gramos teniendo un promedio por planta de 24.26 gramos.

De 154 plantas que fueron regadas por inundación en la misma superficie, se obtuvo 4094 gramos, teniendo un promedio por planta de 26.58 gramos.

### **3.15.- Procedimiento y Diseño Experimental.**

En el CIBA (Centro de Investigación Básica y Aplicada) ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad Laguna, se realizó la instalación de dos áreas cultivables de 60 m<sup>2</sup> cada una, con el propósito de evaluar el desarrollo, número de vainas y grano seco del cultivo de frijol (*Phaseolus Vulgaris*) de la variedad pinto villa generados a partir de la comparación de dos sistemas de riego (microaspersión e inundación) detectando la humedad del suelo de forma precisa por sensores digitales pertenecientes a la tecnología IoT (Internet de las cosas).

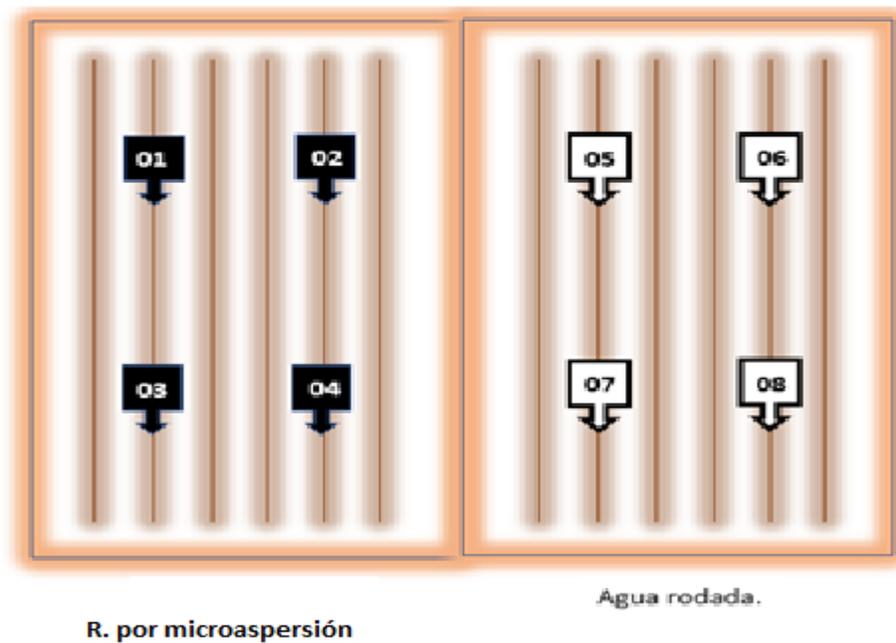
Ambas superficies evaluadas por los sistemas de riego tenían las mismas medidas, las cuales fueron: la distancia de separación entre plantas fue de 25 a 30 centímetros, con surcos de 10 metros lineales y separación entre de surcos de 40 centímetros. En cada superficie se instaló 4 sensores digitales, teniendo un total de 8 sensores para el monitoreo de la humedad del suelo.

En la evaluación del desarrollo, producciones vainas y granos secos se evaluó mediante la comparación de medias de la prueba t de student para  $\alpha$  del 5%. El monitoreo de los sensores se divide en 3 rubros, permitiendo el control de diferente personal perteneciente a la investigación.

El módulo de proceso se encarga en la toma de datos del lugar monitoreado, para posteriormente iniciar el proceso, ajuste y transformación de las magnitudes físicas digitalizadas para subirlo a la nube. El módulo de comunicación, lo aplica mediante el internet TCP, almacenando los datos en el servidor. El sistema de autenticación

ayuda mediante la identificación de usuario a través de tokens, teniendo una mejor seguridad y evitando que personas secundarias alteren los datos obtenidos.

Se realizan muestreos cada 10 minutos, el modo de visualización ejecuta un sistema para la organización de datos precisos de forma eficaz y directo. En la recolección de datos se crea una distribución de dispositivos de medición como se muestra en la figura 1, identificando los cambios otorgados por la húmedas y temperatura del suelo. El área cultivable abarca 120 m<sup>2</sup> divididos en dos secciones las cuales fueron regadas de forma diferente, por microaspersión e inundación para medir los comportamientos de las condiciones del terreno, fue por esto que fueron separados por dos grupos, para analizar la producción de forma independiente de ambas áreas del cultivo.

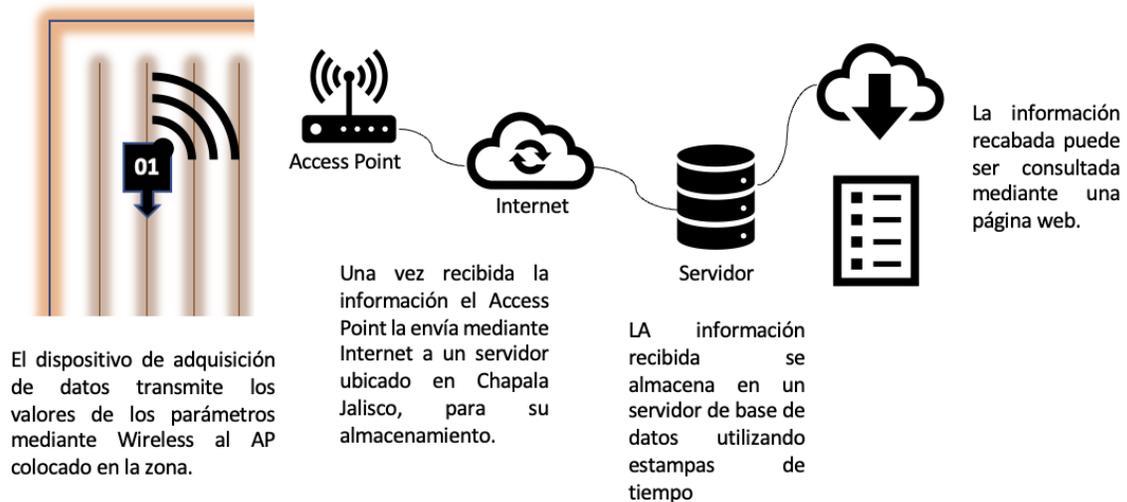


**Figura 1** Distribución de dispositivos de adquisición de datos.

Los sensores de humedad brindan información de las mediciones de humedad no analógicas, utilizando la integración de un sistema para la transformación a digital, por esto se le considera analógico. Los sensores de temperatura son digitales y encargados de la toma de temperatura de la profundidad del suelo. La profundidad

ideal para la instalación de los sensores depende del sistema radical y la profundidad en donde se encuentre, teniendo en cuenta la raíz del frijol, la colocación de profundidad del sensor a los 40 centímetros es conveniente.

Se realiza un montaje y programación del microcontrolador para él envío de datos al cloud, en donde se incorpora los logaritmos y conexión, provocando su funcionamiento por sí solo. Brindando el beneficio que, si algún sensor muestra problemas técnicos, la identificación para sustituirlo o repararlo sea más rápido.



**Figura 2** Comunicación y transporte de los datos del cultivo.

Se necesita un modelo de diferentes capas como lo muestra la figura 2. Durante la comunicación y transporte de la información del cultivo hasta la representación en cualquier otro dispositivo con navegador web. Los datos son recibidos por cada dispositivo de forma independiente teniendo una comunicación por wi-fi, evitando la tendida de cables dentro del cultivo. Se asegura la conexión por medio de credenciales token, el dispositivo puede guardar la información y datos del servidor, disminuyendo el riesgo que personas que no tengan acceso, alteren la información.

Los registros se almacenan en el servidor de forma dependiente no funcionales, es de suma importancia un sistema informático para tener un acceso sencillo, por esto

Figura 3: Comunicación y transporte de los datos del cultivo.

se creó un solo formato adecuado, permitiendo al investigador ingresar a la información almacenada y organizada, facilitando la comprensión de la área cultivable y cambios generados en el transcurso del tiempo.

Los datos obtenidos son comunicación base de los sensores introducidos en el suelo, ayudando a verificar la información otorgada y a realizar la calibración para generar un mejor comportamiento

Por último, se configura el almacenamiento de la nube, registrando los datos de los sensores, siendo accedido por una web sevicie como stand alone o app móvil que necesite de la información.

Para asegurar que los datos seas precisos se debe de aprobar el funcionamiento del sistema, realizando una prueba colocando los dispositivos del censado con su respectiva comunicación y verificar las mediciones manuales periódicas precisas, de tal modo realizar calibración en los sensores asegurando la información almacenada en la nube sea la idónea.

Tomando en cuenta los precios de agua en las siguientes citas:

En el año 2019 en la comarca lagunera, el precio de la cuota del distrito de riego era de \$1,600 pesos mexicano por hectárea, sin importar el cultivo. En base que la raíz del frijol se encuentra en un rango aproximado de los 30 centímetros, podemos calcular que el volumen de agua seria de 3000 m<sup>3</sup>, dividiéndolo con el valor mencionado, su precio por m<sup>3</sup> seria de \$0.53 pesos mexicanos. (Ramírez et al., 2019).

Considerando al consumo por parte del sistema municipal de agua y saneamiento rural en Torreón, Coahuila. Existen 44 mil productores agropecuarios que son tratados por SAGARPA. (González, 2016).

### III RESULTADOS

La cosecha se realizó el día 3 de septiembre del 2022. De forma aleatoria se escogieron 12 matas de frijol las cuales fueron regadas por microaspersión y 10 matas de frijol regadas por inundación. Los resultados se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1** Prueba t para No Promedio de ejotes por mata.

Riego por Micro aspersión	Riego por Inundación
MAE=35.83 ejotes	MAT=46.4
SE=14.78	ST=4.71
n1=12	n2=10
Tc= -2.21 < To= 1.7247	La Producción de ejotes de las matas muestra irrigadas por inundación no fueron mayores que las irrigadas por micro aspersión

El día 30 de octubre de 2022, se tomaron como referencia el número de vainas secas, y se realizó la comparación con ayuda de la t.

**Tabla 2** Prueba t para No Promedio de Vainas Secas por planta.

Riego por Micro aspersión	Riego por Inundación
MAE=33.72 Vainas	MAT=30.72
SE=12.61	ST=9.54
n1=11	n2=11
Tc= 0.6302 < To= 1.7247	La Producción Promedio de Vainas Secas fue

	similar entre las plantas irrigadas por micro aspersión y las plantas irrigadas por inundación.
--	---

El día 3 de noviembre de 2022, se juntaron 6 montones de plantas para cada área cultivada, identificándolas como área de testigo y experimento del frijol pinto villa. Con ayuda de la prueba t de student se obtuvieron los siguientes datos determinados para el numero promedio de plantas por montón.

**Tabla 3** Prueba t para No de plantas promedio por montón de plantas de frijol.

Riego por Micro aspersión	Riego por Inundación
MAE=27.5 plantas por montón.	MAT=25.6
SE=7.34	ST=7.56
n1=6	n2=6
Tc= 0.44 < To= 1.8125	Relacionado con el No de plantas por borregos; fue similar en No de Plantas para el área irrigada por micro aspersión a el área irrigada por inundación-

El número de plantas totales, producción de grano seco en gramos, para ambas superficies, se observa en la tabla 4.

**Tabla 4** No de plantas totales por superficie y Producción de grano seco en gramos

Área de Referencia	No. De Plantas Totales	Producción de grano seco en g. / superficie de 60 m <sup>2</sup>	Producción de grano seco promedio por planta
Riego por Micro aspersión	165	4000	4000/165= 24.26 g.
Riego por inundación	154	4094	26.58 g.

En la tabla 5, se muestra la comparación de borregos “montones de plantas” para realizar la comparación de producción de grano seco, por ambos sistemas de riego. Otorgándonos un resultado por riego por inundación de  $T_c$  de 0.1422, siendo un resultado menor a  $T_o$  de 1.8125, comprobando que la producción de grano fue similar entre los dos sistemas de riego.

**Tabla 5** Análisis de la prueba t para comparar producción de grano seco entre los 2 sistemas de riego para los “borregos” formados.

Riego por Inundación	Riego por micro aspersión
MAE=716.62 g. de grano seco/ por borrego de frijol	MAT=666.6 g. de grano seco/ borrego de frijol
SE=201.65	ST=177.98
n1=6 borregos	n2=6 borregos
$T_c = 0.1422 < T_o = 1.8125$	La producción de grano seco para los 2 sistemas de riego presentó producción similar; es decir no se presentó diferencia estadística.

Realizando una proyección de producción de frijol pinto villa por hectárea se generan los siguientes resultados.

En la tabla 6 se puede observar la proyección de producción de grano seco para los 2 sistemas de riego; y un posible ingreso bruto con precio de garantía de \$16.00 pesos por Kg/Frijol.

**Tabla 6** Análisis de la prueba t para comparar producción de grano seco entre los 2 sistemas de riego para los “borregos” formados.

Sistema de riego	Producción para 60 m2	Para una hectárea	Ingreso bruto/ha.
Inundación	4.094 kg	682.3 Kg	\$ 10 917.3
Micro aspersión	4 kg	666.6 Kg.	\$ 10 666.6
DIFERENCIA:	0.094 kg	15.7 Kg	\$ 251. pesos/ ha a favor del riego por inundación

Con un total 11,000 litros de agua para riegos de auxilio, los cuales fueron utilizados para el riego por microaspersión e inundación.

La implementación de los sensores se realizó el día 24 de agosto del 2022. Para el cultivo con riego de microaspersión, los riegos fueron prolongados los días lunes de cada semana, teniendo un aproximado de 1,500 litros. El riego por microaspersión se fue ajustando, debido a las presencias de lluvia en el mes de agosto, las plantas mostraban síntomas de estrés hídrico, llegando a una lectura del 46 y 50% en la primera semana y realizando los riegos cada dos semanas se obtuvo un 20% de humedad.

Se estima un volumen de agua para el cultivo que fue regado cada 3 semanas por inundación de aproximadamente 11,000 litros, mostrando un porcentaje de humedad registrada por los sensores del 10%.

Se mostro una diferencia reflejada en los riegos de auxilio de ambos sistemas de riego. Expresada de la siguiente forma:

Tomando en cuenta el volumen de agua regada por inundación (11,000 litros) aplicados cada 3 semanas. Se obtuvo un ahorro de agua mediante el sistema de riego por microaspersión, debido a su volumen (1,500 litros) multiplicado por las 3 semanas, mostrando un resultado de 4,500 litros. Logrando un ahorro de 6,500 litros de agua, equivalente al 59% en las 3 semanas.

Llegando a un precio generado por riego por microaspersión de casi \$450 pesos mexicanos. Dato obtenido después de valorar la tabla 7, donde muestra los costos totales de precios de la comisión nacional del agua- cuenca zona norte y precios del SIMAS- rural.

1.-Riego por microaspersión para 60 m<sup>2</sup> de superficie de frijol

**Tabla 7** Cantidad de agua aplicada en m<sup>3</sup>, y cálculos de costes a partir de precio/m<sup>3</sup> (Según costo de CONAGUA y SIMAS Rural).

Tipo de riego	Litros aplicados	No de riegos	Cantidad de agua (L) y m <sup>3</sup>	Costo/m <sup>3</sup> CONAGUA	Costo total CONAGUA	Costo/m <sup>3</sup> SIMAS Rural	Costo Total SIMAS R.
Pre siembra	11 000	1	11 000 = 11	\$ 0.53 pesos	\$ 5.83	\$16.22	\$178.42
Riego de auxilio	1500	11	16 500 =16.5	\$ 0.53 pesos	\$ 8.745	\$16.22	\$ 267.63
Total		12	27500= 27.5		\$14,58 pesos		\$ 446.05

En la tabla número 8 se puede apreciar la cuantificación monetaria del riego por bombeo llevando el agua por inundación a la superficie del frijol; en esta se puede apreciar un costo cercano a los \$900.00 pesos.

2.-. Riego por inundación para 60 m<sup>2</sup> de superficie de frijol

**Tabla 8** Cantidad de agua aplicada en m<sup>3</sup>, y cálculos de costes a partir de precio/m<sup>3</sup> (Según costo de CONAGUA y SIMAS Rural).

Tipo de riego	Litros aplicados	No de riegos	Cantidad de agua (L). y m <sup>3</sup>	Costo/m <sup>3</sup> CONAGUA	Costo total CONAGUA	Costo/m <sup>3</sup> SIMAS Rural	Costo Total SIMAS R.
Pre siembra	11 000	1	11 000 = 11	0.53 pesos	\$ 5.83	\$16.22	\$178.42
Riego de auxilio	11 000	4	44 000 =44	0.53 pesos	\$ 23.32	\$ 16.22	\$713.68
Total		5	55 000=55		\$29.15 pesos		\$892.1

#### **IV. CONCLUSION.**

Teniendo como resultado por medio de ambos sistemas de riego una producción similar de grano seco, con ayuda de la t de student en comparación de medias,  $T_c < T_o$  (no hay diferencia en ellos).

El uso de agua generado por el riego de microaspersión fue de 27.5 m<sup>3</sup> y el riego por inundación de 55 m<sup>3</sup>, con un ahorro de agua a favor del riego por microaspersión por encima de un 50% en comparación del riego por inundación.

Considerando los costos reales del SIMAS- Rural que cobra a \$16.22 pesos/m<sup>3</sup> el uso de agua. El gasto económico del riego por microaspersión fue de \$445 pesos MXN, y el de riego por inundación de \$900 pesos MXN. Teniendo un ahorro económico de 50%, asegurando que el sistema de riego por microaspersión es más rentable.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Acosta Gallegos, J. A., Rosales Serna, R., Ibarra Pérez, F. J., Guzmán Maldonado, S. H., Padilla Ramírez, J. S., Cuellar Robles, E. I., & Pérez Herrera, P. (2007). Pinto Durango Nueva variedad de frijol para el antiplano de México. Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana., 31, 10.
- Aguilar-Zavaleta; S. (2020). Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando lorawar para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú. Tesis de licenciatura en telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Perú.
- Allende Arrarás, G., Acero Godínez, G., Padilla Ramírez, J. S., & Mayek-Pérez, N. (2005). Características agronómicas de seis variedades de frijol cultivadas en condiciones de temporal en Sandoval, Aguascalientes, México. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL GRANO DE FRIJOL EN AGUASCALIENTES, MÉXICO, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (1): 89 – 93, 2006, 3.
- Ávila-Cubillos, E. P. (2015). Manual de Frijol. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial Cámara de Comercio de Bogotá, 34.
- Ávila-Marioni, MR, Espinoza Arellano, JD, González Ramírez, H., Rosales Serna, R., Pajarito Ravelero, A., & Zandate Hernández, R. (2011). Caracterización de los productores, adopción e impacto económico del uso de la variedad de frijol "Pinto Saltillo" en el norte centro de México. Revista Mexicana de Agronegocios, 29 (), 682-692.
- Ávila-Miramontes, J. A., Ávila Salazar, J. M., Rivas Santoyo, F. J., & Martínez Heredia, D. (2014). El cultivo de frijol: sistemas de producción en el noroeste de México. universidad de sonora División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Agricultura y Ganadería, 4.

- Ayala-Garay, AV, Acosta- Gallegos, JA y Reyes-Muro, L. (2021) El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Centro Regional. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México, Libro Técnico No. 1. 232 p
- Barrios Gómez, E. J., López Castañeda, C., Kohashi Shibata, J., Acosta Gallegos, J. A., Miranda Colín, S., Canul Ku, J., & Mayek Pérez, N. (2012). Comparación de las estructuras morfológicas en raíz e hipocótilo en frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4).
- Bravo-Merchán; V.P. (2017). Evaluación de un sistema VBM384 para la aplicación técnica de internet de las cosas IoT, en el monitoreo automático de la humedad y la temperatura del suelo. Tesis de Magister. Repositorio Latinoamericano. Universidad de Cuenca. República de Ecuador.
- Bucardo E M; Charry A; Wiegel J. (2023). Perfil del mercado y la cadena del frijol en Alto Wangki Bocay, Nicaragua. Publicación CIAT No. 555. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 19 p.
- CIAD. (2020). Frijol negro: un alimento accesible, nutritivo y antioxidante. Gobierno de México. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Centro de Investigación En Alimentación y Desarrollo. <https://www.ciad.mx/frijol-negro-un-alimento-accesible-nutritivo-y-antioxidante/>
- Cid R, J. A.; Reveles H, M.; Herrera M. D. y Acosta G, J. A. 2014. Nuevas variedades de frijol para el estado de Zacatecas. Folleto Técnico No. 57. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOCINIFAP. 35 p.
- Cruz-Cruz, E., J.A. Acosta-Gallegos, L. Reyes-Muro y J.A. Cueto-Wong. (2021). Variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Oficinas Centrales. Ciudad de México. México. Libro Técnico No. 2, 98 p.
- Chávez Simental, J. A., & Álvarez Reyna, V. de P. (2012). Ecofisiología de seis variedades de frijol bajo las condiciones climáticas de la Región Lagunera. *Revista Mexicana*

de Ciencias Agrícolas, vol. 3, núm. 2, pp. 299-309 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México

Espinosa; A., Ponte; D., Gibeaux; S., y González; C. (2021). Estudio de sistemas IoT aplicados a la agricultura inteligente. Revista Plus Economía. Vol.9(1). Universidad Autónoma de Chiriquí. República de Panamá.

Fernando Fernández de C., Paul Gepts, Marceliano López. (1986). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia. 34 p. iluso

Flores Franco, E., & García Meza, P. (2021). En la zona semiárida de Guanajuato, productores que han implementado prácticas agrícolas sustentables incrementan significativamente su producción de frijol. CIMMYT Desarrollo Energético, de <https://idp.cimmyt.org/con-practicas-sustentables-pasan-de-800-kilos-a-2-5-toneladas-de-frijol-por-hectarea/>

Grada-Ordoñez; L.E. (2021). Análisis y determinación de los precios sombra en el sector del transporte. Tesis de licenciatura en Contabilidad Superior. Facultad de Ciencias de la Administración de la Universidad del Azuay, Cuenca Ecuador.

Godínez-Montoya; A., García-Salazar: J.A., Fortis-Hernández; M., Mara-Flores; J.J., Martínez-Damían, Valdivia-Alcalá; R. y Hernández-Martínez J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca lagunera. Revista Terra latinoamericana, volúmen2(1). Chapingo Estado de México.

Guzmán Maldonado, S. H., & Paredes López, O. (1998). Perdidas irreversibles de un rico legado de la naturaleza para la humanidad. El caso del frijol común en México. INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, 49(4).

Haynes; R.S. y Swift; D. (1987). Efectos de la fertirrigación por goteo en 3 formas de nitrógeno sobre el pH del suelo, los niveles de nutrientes extraíbles por debajo del emisor y el crecimiento de las plantas. Revista Planta y Suelo, Vol. 2 (2). Pag:211 – 221.

- Hernández-Fonseca, J. C. (2009). Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Manual de Recomendaciones Técnicas., 17.
- Hernández-López, V. M., Vargas Vázquez, Ma. L. P., Muruaga Martínez, J. S., Hernández Delgado, S., & Mayek Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. avances y perspectivas. Scielo, Revista Fitotecnia Mexicana, 36(2).
- Hernández-Ramírez; L.F., Arce-Valdez; J.L., Martínez-Rivera; J.A. (2020). Desarrollo de sistemas mecatrónicas enfocados a tecnologías de agricultura de precisión, aplicables a cultivos de frijol: Una revisión. ELECTRO, Vol. 42. ISSN: 1405-2172. Chihuahua, Chihuahua México.
- Khokhar, T. (2017). Chart: Globally, 70% of Freshwater is Used for Agriculture. Recuperado el 9 de febrero de 2019, de <https://blogs.worldbank.org/opendata/chartglobally-70-freshwater-used-agriculture>
- Lara Flores, M. (2015). El cultivo de frijol en México. Universidad Nacional Autónoma de México., 16(2).
- Lardizábal, R., Arias, S., & Segura, R. (2013). Manual de producción de frijol. USAID del Pueblo de los Estados Unidos de América, 20.
- López, M., Fernández, F., & Van Schoonhoven, A. (1985). Frijol: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical, 7.
- López Salinas, E., Tpsqy Valle, O. H., Jiménez Hernández, Y., Salinas Pérez, R. A., Villar Sánchez, B., & Acosta Gallegos, J. A. (2012). Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol negro Comapa en dos regiones de México. Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 35(4), 309-315.
- Mata-Vigil; I.I. (2021). Evaluación de 3 láminas de riego en suelos de diferentes texturas en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de licenciatura de la Escuela Agrícola Panamericana; El Zamorano. Dpto. de Ciencias Agropecuarias. Honduras
- Mora-Magallanes; H.V. y Rosas-Peri; J.L. (2019). Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de

decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en tecnología IoT: Caso de estudio del cultivo del frijol. Tesis profesional de Ingeniería electrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Murillo-Amador, B., Troyo Dieguez, E., García Hernández, J. L., Landa Hernández, L., & Larrinaga Mayoral, J. A. (2000). El frijol yorimon leguminosa tolerante a sequía y salinidad. Programa de Agricultura En Zonas Áridas Publicación de Transferencia y Divulgación No. 2, 13

Murillo-Trujillo; J., Perales-Salazar; A. (2009). Precio sombra y coste real del agua para riego en Acámbaro Guanajuato. Revista Tecnología y Ciencia del agua. Volumen 13(1). Universidad Autónoma Chapingo. ISSN: 2007-2422.

Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Yáñez-Chávez, L. G. (2016). Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México1. Universidad de Costa Rica, Agronomía Mesoamericana, 21(1), 167-176.

Polanía, J. A. (2016). Ocho líneas de frijol con la combinación perfecta: resistencia a sequía y alta producción de grano. Alliance Bioversity y CIAT, de <https://alliancebioversityciat.org/stories/ocho-lineas-de-frijol-con-la-combinacion-perfecta-resistencia-sequia-y-alta-produccion-de>

Ramírez-Barraza; B.A., González-Estrada; A., Valdivia-Alcalá, R., Salas–González; J.M. y García-Salazar; J.A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en La Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 10(3). Texcoco, Estado de México.

Rosales Serna, R., Ibarra Pérez F. J., & Cuéllar Robles E. I. (2018). Pinto Centauro, nueva variedad de frijol para el estado de Durango. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 3(7), 1467–1474. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1354>

Rosas, J. C. (2003). El cultivo de frijol común en América Tropical. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano Honduras, 17.

- Sabri; F.N., Hanif; N.H.H.M., Janin; Z. (2018). Precisión Crop Managemet fpr Indoor Farming. IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA).
- Sánchez Valdez, I., Acosta Gallegos, J. A., Ibarra Pérez, F. J., Rosales Serna, R., & Cuellar Robles, E. I. (2009). Pinto saltillo: variedad mejorada de frijol para el estado de Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana, 36, 21.
- Sánchez V. I., J. A. Acosta G., F. J. Ibarra P., R. Rosales S. y E. I. Cuéllar R. (2006) Pinto Saltillo, nueva variedad de frijol para el Altiplano de México. Folleto Técnico Núm. 22. Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). Agricultura en zonas áridas, el reto de producir. Gobierno de México, de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agricultura-en-zonas-aridas-el-reto-de-producir>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). El Frijol mexicano: Variedades rositas, negros y pintos. Gobierno de México, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-frijol-mexicano-variedades-rositas-negros-y-pintos>
- SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Cierre de la Producción Agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- SIAP. (2016). Frijol mexicano. SAGARPA, Subsecretaria de la Agricultura. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255625/Planeacion\\_Agricola\\_Nacional\\_2017-2030-\\_parte\\_dos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255625/Planeacion_Agricola_Nacional_2017-2030-_parte_dos.pdf)
- Sueiro Garra, A., Rodríguez Pequeño, M., & Martin, S. de la C. (2011). el uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol: una alternativa para la agricultura sostenible en agua la grande. Filial Universidad Municipal Sagua la Grande, 6.

- Salcedo, J.M. 2008. Guías para la regeneración de germoplasma: frijol común. En: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., editors. Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italy. 10 pp.
- Ugalde-Acosta; F.J., Tosquy-Valle; O.H., López-Salinas; E. y Francisco, N. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo del frijol con fertirrigación en Veracruz México. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 22(1); 29-36. San Pedro. Costa Rica.
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Repositorio Institucional Aramara, Universidad autónoma de Nayarit, 1.
- Valladolid Ch., A. (2001). El cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la costa del Perú. *Instituto Nacional de Investigación Agraria*, 4, 12.
- Zabalza-Martí A. (1972). El concepto del precio de sombra. Centro de estudios económicos y sociales (CSIC). Departamento de Teoría Económica de la Universidad de Barcelona. Barcelona España.