

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



**Implementación de una metodología de calidad para maximizar el proceso de
producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en la Comarca
Lagunera**

POR

JACINTO ALVARO DEARA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA

MÉXICO DICIEMBRE 2021

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

Implementación de una metodología de calidad para maximizar el proceso de producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Comarca Lagunera

POR:

JACINTO ALVARO DEARA

TESIS

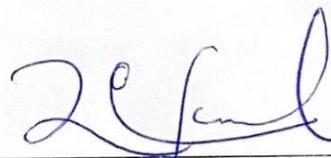
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

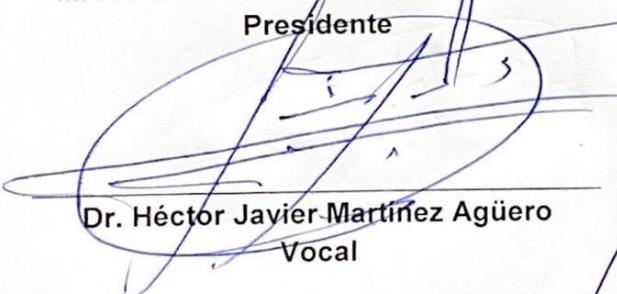
Aprobada por:

Juan L.

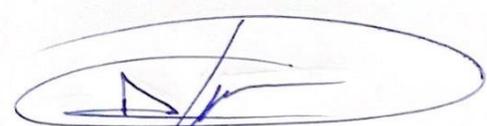
M.C. Juan Leonardo Rocha Quiñones
Presidente



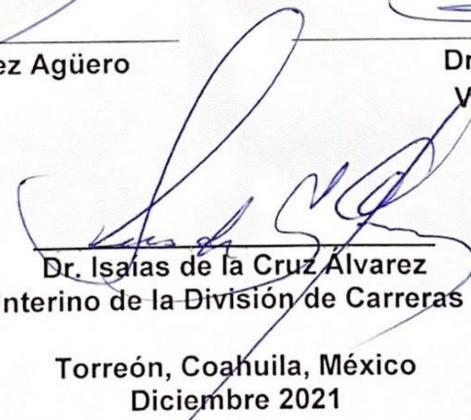
M.C. Rafael Ávila Cisneros
Vocal



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Vocal



Dr. Alfredo Ogaz
Vocal Suplente



Dr. Isaias de la Cruz Alvarez

Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2021

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Implementación de una metodología de calidad para maximizar el proceso de producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en la Comarca Lagunera

POR:

JACINTO ALVARO DEARA

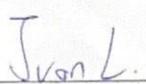
TESIS

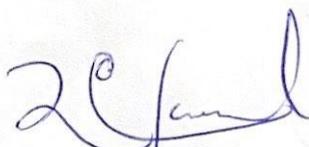
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

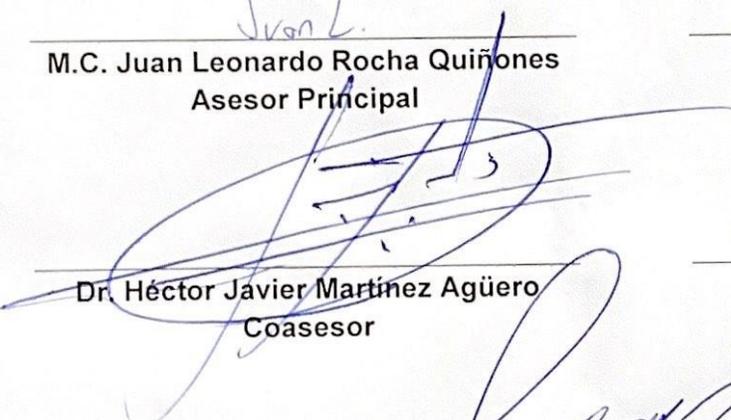
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:

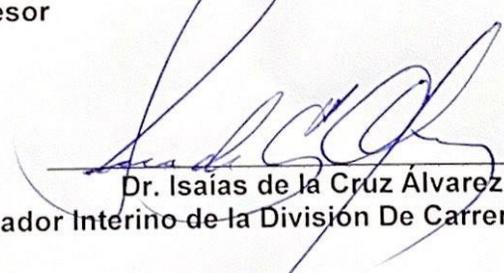
Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Juan Leonardo Rocha Quiñones
Asesor Principal


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coasesor


Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Coasesor


Dr. Alfredo Ogaz
Coasesor


Dr. Isaias de la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División De Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2021

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por todas las bendiciones que me ha dado todos los días de mi vida, por darme la dicha y la felicidad de vivir y de gozar todas las maravillas de su obra, por darme fuerza, valor e inteligencia para poder seguir viviendo y de seguir adelante, por darme la fortuna de tener una familia maravillosa, pero sobre todo por la vida que me ha prestado.

A mi padre, por darme la vida, acompañado de amor, ternura y cariño en todo momento de mi vida, además de sus sabios consejos, valores y principios, inculcándome al camino del bien, por estar conmigo en todo momento de alegría y tristeza, por apoyarme con gran esfuerzo y sacrificio a terminar una carrera profesional. Por el ejemplo que me ha dado de ser una persona con principios y respeto.

A mi mamá, que fuiste y serás la luz de mi camino, nunca olvidare por que fuiste una madre ejemplar que me diste cariño, ternura, comprensión y amor en el momento en que nací, por los consejos y sabiduría que me brindaste por darme la vida, la madre más maravillosa del mundo que me ayudaste a cumplir mis sueños
TE AMO MAMÁ.

A mis hermanos: Mingo, Mateo, Mike, con gran cariño y afecto fraternal, porque fueron la parte más importante de mi vida y en mi formación, por brindarme sus apoyos, ánimo y motivación para que yo terminara esta carrera, además del apoyo económico que me brindaron, por estar conmigo en los momentos de alegría y tristeza, a mi hermanita que fue y es parte de mi vida.

DEDICATORIA

A mis padres Sr. Domingo y Sra. Manuelita por su amor, trabajo y sacrificio en estos 4 años de carrera universitaria, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio ser su hijo.

A mis hermanos Mingo, Mateo, Mike y mi hermanita Charet por convertirse en mi ejemplo a seguir y brindarme el apoyo incondicional, haciéndome ver que a pesar de las adversidades siempre hay una luz al final del camino.

A mis amigos Huber, Adri y Griselda por estar presente en los mejores momentos de mi vida y siempre recibirme con una sonrisa haciendo mis días más gratos. Por demostrarme.

El Dr. Rocha Valdez que en paz descansa, agradezco de corazón por haber confiado en mí en incluirme en su gran proyecto su gran apoyo al inicio de este proyecto que ya no me acompaña en concluirlo y no tengo más nada que decirle que muchas gracias y Dios lo tenga en su santa gloria.

Al ingeniero Rocha Quiñones por el apoyo en la elaboración, de igual forma el tiempo que me dio para revisar y la paciencia que me tuvo y por compartirme su conocimiento durante el proyecto.

Al M.C Rafael Ávila Cisneros por el apoyo que me brindo y de igual forma compartir sus conocimientos, su tiempo que me brindo para la elaboración de este trabajo, de igual manera agradezco la paciencia que me tuvo por mí.

RESUMEN

El trabajo de investigación que a continuación se presenta se llevó a cabo en el ciclo primavera – verano 2020; el cual se ubicó en el campo experimental de la UAAAN.UL Torreón Coahuila. Se realiza esta investigación con 4 variedades de frijol y para ello la hipótesis planteada es buscar mejorar la calidad, maximizar y eficiente la producción del frijol mediante la aplicación de la metodología six sigma, lo cual se llevó a cabo entre tres variedades de frijol las cuales son: Pinto Centauro, Pinto Criollo, Pinto Saltillo. Es de mucha importancia esta investigación aplicar la metodología de calidad en el sector agrícola en este caso en la producción del frijol ya que eso permite reducir tiempo, disminuir y eficiente la mano de obra durante el proceso de desarrollo del cultivo, además permite analizar posibles fallas de mano de obra o la causa de una menor producción en el cultivo del frijol. Para evitar la mortalidad para evitar la mortalidad de plantas durante el desarrollo se debe mejorar las prácticas agrícolas durante su etapa de desarrollo del cultivo como son un mejor canal de riego para evitar encharcamiento, otra es la aplicación de fertilizante realizar en tiempo y forma correcta. Six sigma consta de cinco etapas con sus respectivos herramientas que brindan apoyo para poder cumplir y obtener la hipótesis planteada. La presente investigación se llegó a la conclusión que six sigma es una herramienta de suma importancia para poder mejorar la producción y la calidad de las variedades de frijol por lo que se mejoran fallas en las actividades agrícolas observadas y así evitar la mortalidad del cultivo.

Palabras Claves: Six Sigma, Calidad, Producción, Análisis para altura, Causa-efecto.

ABSTRACT

The research work presented below was carried out in the spring - summer 2020 cycle; which was located in the experimental field of the UAAAN.UL Torreón Coahuila. This research is carried out with 4 bean varieties and for this the proposed hypothesis is to seek to improve the quality, maximize and efficient bean production through the application of the six sigma methodology, which was carried out among three bean varieties which are : Pinto Centauro, Pinto Criollo, Pinto Saltillo. This research is very important to apply the quality methodology in the agricultural sector in this case in the production of beans since this allows reducing time, reducing and efficient labor during the development process of the crop, it also allows to analyze possible failures of labor or the cause of lower production in bean cultivation. To avoid mortality to avoid plant mortality during development, agricultural practices should be improved during their crop development stage, such as a better irrigation channel to avoid flooding, another is the application of fertilizer to be carried out in a timely and correct manner. Six sigma consists of five stages with their respective tools that provide support to be able to fulfill and obtain the hypothesis raised. The present investigation concluded that six sigma is a very important tool to improve the production and quality of bean varieties, thus improving failures in the agricultural activities observed and thus avoiding crop mortality.

Key Word: Six Sigma, Quality, Production, Analysis, for height, Cause-effect

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
Palabras Claves	iii
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Hipótesis	3
II REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Antecedentes del frijol.....	4
2.2 Importancia del frijol	6
2.3. Producción mundial.....	7
2.4 Producción nacional.....	11
2.5 Producción del frijol en la comarca lagunera	12
2.6 DESCRIPCION BOTÁNICA.....	13
2.6.1 Taxonomía del frijol.....	13
2.6.2 Característica morfológica del frijol.....	14
2.6.2.1 Raíz	14
2.6.2.2 Tallo.....	15
2.6.2.3 Ramas y complejos axilares	15
2.6.2.4 Hojas	16
2.6.2.5 Las inflorescencias	16
2.6.2.6 La flor.....	17
2.6.2.8 Fruto	18
2.6.2.9 Semilla.....	18
2.6.3 Fase fenológico del frijol	18
2.7 CARACTERISTICA DE LA METODOLOGIA SIX SIGMA.....	21
2.7.1 Que es el Six sigma	21
2.7.2 Antecedentes de Six sigma	24
2.7.3 Etapas del Six sigma	27

2.7.4 Herramientas de Six sigma.....	36
2.7.5 Para qué sirve el Six sigma	47
2.7.6 Control de calidad en el sector agrícola con la metodología Six sigma .	48
2.7.7 Beneficios del Six sigma en control de calidad	49
2.7.8 Control de calidad en el sector agrícola.....	51
2.7.9 Las normas ISO en Six sigma	51
III. MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera	53
3.2 Localización del experimento.....	53
3.3 Genotipos.....	53
3.4 Procedimiento experimental.....	53
3.4.1. Preparación del terreno.	53
3.4.2 Siembra.	54
3.4.3. Labores culturales.....	54
3.4.3.1. Aporque.....	54
3.4.3.2. Deshierbe.	54
3.4.4. Riego	54
3.4.5. Fertilización.....	55
3.4.6. Aplicaciones de insecticida	55
3.4.7. Cosecha.....	55
3.5. Variables evaluadas.....	55
3.5.1. Altura de planta.....	56
3.6 Aplicación de la metodología Six sigma por etapas y con sus respectivos herramientas	56
3.6.1 Etapa 1: Definir	56
3.6.1.1 Localización del experimento	56
3.6.1.2 Genotipos	56
3.6.1.3 Objetivo	56
3.6.2 Etapa 2: Medir	57
3.6.3 Etapa 3: Analizar	60
3.6.4 Etapa 4: mejorar	82
3.6.5 Etapa 5: controlar.....	86
IV DISCUSION.....	95
V CONCLUSIÓN.....	96
VI BIBLIOGRAFÍA.....	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas de desarrollo en un cultivo de frijol común.	19
Tabla 2: Plan de trabajo donde se enlista las actividades realizadas durante el proyecto.	57
Tabla 3: Identificación del sistema de medición.	58
Tabla 4: Diagrama SIPOC.....	59
Tabla 5: Entradas X's.....	60
Tabla 6: Tabla QFD.....	62
Tabla 7: Matriz causa-efecto.	64
Tabla 8: Base de datos de altura, especie, y tipo de fertilizante utilizado.	65
Tabla 9: Altura de planta en (cm) por variedad de frijol.....	66
Tabla 10: Estadística descriptiva.....	66
Tabla 11: Bondad de ajuste	67
Tabla 12: Análisis de correlación entre medición 1 vs medición 2.	74
Tabla 13: Cuadro de análisis de varianza	76
Tabla 14: Muestra la comparación Tukey	77
Tabla 15: Muestra el análisis de varianza	79
Tabla 16: Prueba Tukey	80
Tabla 17: AMEF	82
Tabla 18: Matriz Pugh.	84
Tabla 19: Plan de control de procesos.....	87
Tabla 20: Plan para mantener ganancias.....	87
Tabla 21: Base de datos donde se muestra la fecha, altura, especie y con qué fertilización se aplicó en la planta de frijol.	89
Tabla 22: Plan de implementación.	93
Tabla 23: Elaborar, revisar y modificar si es necesario los AMEF's.....	94

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Producción mundial del frijol, 2012-2018 (toneladas)	8
Gráfica 2: Producción mundial de frijol, 2003-2014 (millones de toneladas).....	9
Gráfica 3: Clasificación taxonómica del frijol común.	14
Gráfica 4: Etapas de desarrollo de una planta de frijol.....	19
Gráfica 5: Diagrama de flujo.....	58
Gráfica 6: Diagrama causa-efecto.....	61
Gráfica 7: Muestra la relación de la planta con la altura.....	68
Gráfica 9: Informe resumido de la altura del frijol variedad pinto Saltillo.	69
Gráfica 10: Informe resumido de la altura de frijol variedad Pinto Criollo	70
Gráfica 11: Informe resumido de la altura de frijol variedad Pinto Centauro.	71
Gráfica 12: Muestra la relación que hay entre las tres especies con la altura.....	72
Gráfica 13: Histograma, muestra el análisis de capacidad para altura.....	72
Gráfica 14: Resumen de la capacidad de altura	73
Gráfica 15: Correlación entre la primera y segunda medición de la altura de planta.	74
Gráfica 16: Diagrama de caja, muestra la relación de la altura de cada especie. .	76
Gráfica 17: Prueba para varianzas iguales entre la altura y la especie del frijol. ..	78
Gráfica 18: Diagrama de caja. Ilustra la relación entre el fertilizante y la altura de cada especie	79
Gráfica 19: Muestra la variabilidad: Altura VS Fertilizante	80
Gráfica 20: Análisis para altura	81
Gráfica 21: Esfuerzo impacto, muestra la relación entre ambos variables.....	83
Gráfica 22: Diagrama de flujo actual, donde se corrigió las posibles causas de la muerte de la planta.....	86
Gráfica 23: De dispersión de altura VS Altura_1 de la planta.	89
Gráfica 24: Resumen para la altura_1.....	92
Gráfica 25: Análisis para la altura_1.....	93

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del frijol es uno de los más importantes en la economía agrícola del país, tanto por la superficie que se cultiva, como por la generación de recursos que genera. Junto con el maíz constituyen la dieta básica del pueblo mexicano y por consecuencia son los productos de mayor importancia socioeconómica tanto por la superficie sembrada como por la per cápita consumida. De igual forma esta leguminosa es una fuente de proteína importante en la dieta de los mexicanos. Sin embargo en alguna de las regiones de México aún no han sido definidas las semillas mejoradas para el cultivo de frijol, en la investigación que se está planteando se busca una forma de mejorar la calidad y permitir incrementar el proceso de producción basándose a la metodología Six Sigma con ayuda de las semillas originarios de la región, con la finalidad de obtener o crear los mejores procedimientos para la producción del frijol, además para adaptarse a las condiciones climáticas, topográficas y de tipo del suelo de la comarca lagunera.

1.1 Justificación

El equipo de investigación del cuerpo académico UAAAN-CA-34 en ciclos agrícolas anteriores ha trabajado el proyecto de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) realizando la comparación de producción, efectos en el suelo de la fertilización con fuentes orgánicas e inorgánicas, y durante el desarrollo de los diferentes ciclos agrícolas se han observado diferentes fenómenos de plagas, enfermedades y en general afectaciones en el desarrollo fisiológico durante el desarrollo del cultivo, lo que se traduce en una disminución de la producción. Se han realizado registros de un grosor de tallo, número de vainas, número de ejotes por vaina, hasta llegar al llenado y maduración del frijol. Sin embargo es importante identificar, registrar, así como eliminar operaciones a lo largo del proceso que no generan valor, así como implementar herramientas de calidad para evitar reincidir en fallos cotidianos y buscar satisfacer las necesidades del cliente acompañado de la gran variable de los efectos que puede generar el cambio climático al afectar el ciclo natural de maduración del grano, es decir el ciclo productivo del frijol se acorta o se alarga en maduración de grano de tal manera que afecte la producción de grano, motivo que considera importante investigar al realizar diferentes fechas de siembra que permitan registrar, evaluar, y establecer la metodología Six Sigma como alternativa de calidad en el proceso de producción y conocer estadísticamente el comportamiento fisiológico que genera una mejor y más alta producción considerando el medio ambiente actual.

1.2 Objetivos

1. Implementar una metodología de calidad para el proceso de producción de frijol.
2. Difundir a los productores el comportamiento y producción del cultivo de frijol en el uso de la metodología six sigma aplicada en el área agrícola.

1.3 Hipótesis

La implementación de la metodología de calidad Six Sigma permite incrementar el proceso de producción del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el medio ambiente actual.

II REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del frijol

Con los estudios realizados se dice que el origen del frijol es en México ya que se considera como uno de los mega centros y con su gran diversidad genética, además por la gran cantidad de especies cultivadas ya domesticadas. Se han descubierto arqueológicos antiguos donde las plantas cultivadas en Mesoamérica con al menos 5 000 a 7 000 años A. C. además de esos estudios que afirman, unas evidencias encontrados en Tehuacán, Puebla dicen que el inicio de las prácticas de la agricultura fue en Mesoamérica, se basan a los signos, pinturas y códices que son muestras de como en los pueblos Mesoamericanos, se ha dado la práctica de cultivos, que hoy se sigue llevando acabo como el frijol. (Sangerman *et al.*, 2010)

En América Latina es considerado como el lugar de origen y su domesticación del frijol, por sus dos orígenes geográficos (Mesoamérica y los Andes) se derivan de un ancestro común en 100, 000 años de antigüedad, para México y América del sur se cree que el frijol se empezó a cultivar de manera independiente hace aproximadamente 8,000 años, y por la misma razón que hay registros de semillas cultivadas del frijol de 3,000 años de antigüedad. (Flores, 2015).

Se dice que el frijol se doméstico en México basados en las culturas prehispánicas, donde se muestran evidencias que se usó como alimentación, para

satisfacer la demanda alimenticia así también incorporándose otros cereales, haciéndolo muy importante como alimentos de origen vegetal y fuente principal de proteínas en el sector de la población de bajos recursos. De igual forma México además de su origen y diversidad del género *Phaseolus* contiene en su territorio hasta un 95% de las especies más prestigiadas, ahora las especies más cultivadas y más consumibles son: frijol (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus lunatus* y *Phaseolus acutifolius*). (Reyes *et al.*, 2014)

El frijol común *Phaseolus vulgaris* L. su origen es en el Continente Americano, con sus principales centros primarios de diversidad genética: Mesoamérica y Zona Andina, para ser más específicos en nuestro país en la región occidente de México es señalado como centro de origen y que fue domesticado por la gran variabilidad y resultados de estudios morfológicos y moleculares. Ahora el frijol representa a México como uno de las leguminosas muy importante en el consumo y en la derrama económica de muchos países. (Jorge, 2019)

El frijol se ha considerado que su origen y domesticación fue en México además se cuenta con una gran diversidad genética aproximadamente 70 géneros de *Phaseolus*, lo que ha permitido México disminuir el hambre ya que se destaca como uno de las leguminosas más importantes por su contenido nutricional. Ahora el frijol esta como el segundo cultivo en importancia y ha permitido aumentar la superficie sembrada, su grano es un alimento básico que hace notable aporte proteico a la dieta humana. En México, la producción de frijol depende en alto

gado de la diversidad genética de las poblaciones nativas, debido que la producción comercial está basada en este tipo de poblaciones. (Avendaño *et al.*, 2004)

2.2 Importancia del frijol

El frijol es una de las especies de leguminosa que es considerado importante en la dieta de la humanidad por su composición nutricional por su alta porción y rica en proteínas, minerales como calcio, hierro, fósforo, magnesio y zinc a demás lo hace más prestigiada por las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico. (Hernández *et al.*, 2013)

El frijol *Phaseolus vulgaris* L. lo hace importante en América Latina porque es una de las leguminosas con alto fuente de proteína que alcanza de (15-35%) y calorías (ca. 340 cal. /100 gr), en América central así como en otros continentes es considerado importante por sus propiedades y siendo así consumido en la mayoría de los países centroamericanos hasta tres veces por día. (Morales, 1994)

México es el país que pertenece al frijol y de la familia Fabácea, subfamilia Papilionideae y especie *Phaseolus vulgaris* L. la importancia que se le tiene a esta leguminosa es por su alto contenido proteico (20-25%) es el tercer cultivo más importante entre las leguminosas en el mundo, como la mayoría de las leguminosas, sus proteínas son deficientes en aminoácidos azufrados como la tetionina y la cisteína, sin embargo, el consumo diario del frijol favorece en la disminución de los niveles de colesterol.(Flores, 2015)

El frijol es considerado como uno de los alimentos básicos e importantes en muchos países del continente americano, su importancia fundamental que se le da a esta leguminosa es de ser una excelente fuente de proteínas, aminoácidos esenciales y hierro. Se dice que contiene más del doble de proteínas y casi igual de cantidad de carbohidratos que los cereales. (Mederos, 2006)

La producción de leguminosa, en especial el frijol se ha visto la disminución una tasa de 3.2 % con respecto a un crecimiento de población más rápido que la producción. La importancia del frijol es especialmente que constituye una fuente de proteínas e hidratos de carbono natural; además es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tianina; también contiene hierro, cobre, zinc, fosforo, potasio, magnesio y calcio, y con un alto contenido de fibra. A demás la variedad de frijol es diferenciado o caracterizado por su tamaño, color, forma y tipo de crecimiento. (Sangerman *et al.*, 2010)

2.3. Producción mundial

El cultivo de frijol durante el periodo 2012-2018 la producción mundial se ha mantenido a una tasa media de crecimiento anual de 3.3%. En el año de 2017 hubo una producción mundial de esta leguminosa que se ubicó en 32.1 millones de toneladas, siendo el año de mayor producción del frijol.

Y en 2012 hasta 2017, la producción mundial del frijol se mantuvo a un ritmo de crecimiento que se logró alcanzar las 32.1 millones de toneladas en 2017. Pero en 2018 la contracción en la producción de la India y Brasil produjo una caída

de 1.2 % siendo estas dos naciones las que concentran el 28.8% de la producción mundial en 2018; con el 19.6% y el 9.2% respectivamente. (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Febrero 2020)

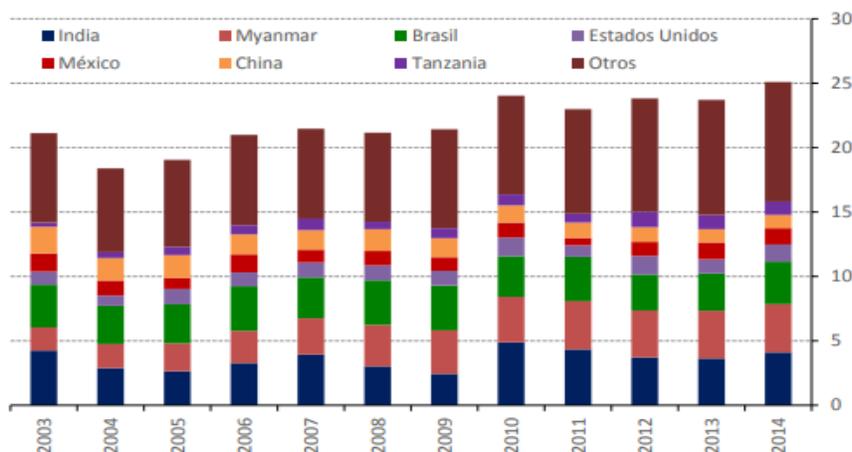


Gráfica 1. Producción mundial del frijol, 2012-2018 (toneladas)

Fuente: (FAO 2012) citado por CEDRASA (2021)

El aumento de la superficie de siembra del frijol la producción mundial creció una tasa promedio anual de 1.6% entre 2003 y 2014, para llegar a producir 25.1 millones de toneladas. Estos aumento se deriva de un crecimiento promedio anual de 0.5 % en la superficie cosechada y de 1.0% en el rendimiento promedio, los países que se destacan por ser los más productores de frijol se concentró el 63.0% de la producción mundial de frijol en 2014: India (16.4 %), Myanmar (14.9%), Brasil (13.1%), Estados Unidos (5.3%), México (5.1%), China (4.1%) y Tanzania (4.1%). Entre los principales países productores, destaca el dinamismo que la producción de frijol ha tenido entre 2003 y 2014 en Myanmar y Tanzania, donde creció a tasas promedio anuales de 6.8 y 10.8 por ciento, respectivamente. Por el contrario, en India, México y China, el volumen de producción se redujo a

una tasa promedio anual de 0.3, 0.9 y 6.1 por ciento durante el mismo período, respectivamente. (Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 2016)



Gráfica 2. Producción mundial de frijol, 2003-2014 (millones de toneladas)

Fuente: (FAO)

Entre los granos básicos, *Phaseolus vulgaris* es una de las más cultivadas en el mundo por su importancia en su aporte de proteína en la alimentación. Su producción mundial durante 1982-1984 fue de 8,53 millones de toneladas, esta producción se obtuvo en América Latina 3983 toneladas, que en porcentaje representa el 46,7 de la producción mundial. La región que abarca el estudio de esta Unidad comprende los siguientes países: Belice, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Puerto Rico, República Dominicana y Jamaica. México se identifica con una superficie sembrada con cerca de dos millones de hectáreas y sobrepasando el millón de

toneladas del grano por es considerado el país con mayor superficie sembrado. (Araya *et al.*, 2021)

Con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el frijol en el mundo su producción se concentra básicamente en 130 países se usa como dieta humana en 163 países en los cinco continentes. Durante 1961-2008 la producción en promedio fue 15.4 millones de toneladas al año que significa una tasa media anual de crecimiento (TCMA) de 1.09%. Los principales países productores se encuentra, India con 18.6%, Brasil con 16.7%, China con 11.8%, Estados Unidos con 6.8% y en quinto lugar México con 6.7%. Entre todos éstos países, conjuntamente con Myanmar, contribuyen con el 64.5% de la producción total mundial. (Rivas *et al.*, 2011)

En el mundo la producción de frijol en cada año siempre ha tenido sus bajas y altos rendimientos, en el año 2013 fue de 23,13 millones de toneladas, y el continente americano es uno de los mayores consumidores del frijol y por esa razón se ha preocupado en la producción y es el segundo productor con el 31% de la producción mundial. (Medina *et al.*, 2015)

El mundo se ha interesado en la producción de frijol por su importancia, en el año 2005 se produjo 19.19 millones de toneladas. Esta producción se obtuvo de América Latina y el Caribe el 5.77 millones de toneladas que en porcentaje es el 30.06 % de la producción mundial. (Armando, 1983)

2.4 Producción nacional

La producción de frijol en México es un cultivo de suma importancia y ha permitido que esta leguminosa ocupe el segundo lugar en la superficie a nivel nacional, con más de 1.85 millones de hectáreas. Con una producción de 1.31 millones de toneladas, con un valor de 7.5 mil millones de pesos en promedio datos que pertenece del 2002/2004. A pesar de la competitividad del frijol en nuestro país tiene una gran importancia que existe aproximadamente 570 mil productores que continúan sembrando, sin considerar el costo oportuno de su mano de obra, la tierra y la devaluación de sus maquinarias.(Garay *et al.*, 2008)

En México la leguminosa en especial el frijol es considerado importante, en los últimos años ocupa el segundo lugar en superficie con un promedio de 1.6 millones de hectáreas con una producción de 1.15 millones de toneladas y un costo de producción de 7.04 mil millones de pesos, durante el 2003/2007. (Schewentesius *et al.*, 2011)

Durante el periodo de 2014 a 2017, el frijol en México se tuvo una superficie agrícola de 1.69 millones de hectárea que representa 11.1% del total nacional. Con los mismos datos, la producción anual promedio fue de 1.13 millones de toneladas con un costo de producción de 12,552 millones de pesos. (Borja, 2018)

Con su gran producción de frijol México, es considerado como el quinto productor mundial de esa leguminosa, con más de un 1.000.400 toneladas; así mismo en México es el segundo con más superficie sembrada después del maíz,

esto por su importancia que es una de las principales fuentes de proteína en la dieta. Con estudios realizados el sistema tradicional en la producción de maíz y frijol de variedades nativas se practicaba en al menos 600 000 hectáreas anuales en el centro y sur del país. (Mendoza *et al.*, 2006)

La leguminosa (*Phaseolus vulgaris* L.) es un grano básico e importante para México y para consumo humano en el mundo. Por la misma situación México se ha obligado a producir y ocupa el quinto lugar en la producción mundial con 1.273.957 toneladas y es el tercero en América después de Brasil. (Espinoza *et al.*, 2016)

En el año de 1970 a 1980, el frijol en México es de suma importancia en la dieta humana que en 1970 se cultivaron un promedio de 1 628 000 hectáreas anuales y con una producción media anual de 1 876 000 toneladas y un rendimiento de 540 kg/ha. Pero en 1980, también se sembró 1 396 795 hectáreas de frijol de igual forma con una producción total de 971 359 toneladas y obteniendo un rendimiento medio de 551 kg/ha. (Armando, 1983).

2.5 Producción del frijol en la comarca lagunera

Durante el 2009 Torreón Coahuila la producción de frijol se reflejó una producción de más de 2 mil toneladas con un rendimiento promedio de 820 kg/hectárea. (Chávez *et al.*, 2012).

En la comarca lagunera específicamente ubicada en Torreón Coahuila y colindancia con Durango, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) anualmente se cuenta con una superficie cultivada en un promedio de 4.300 hectáreas. (Sandoval *et al*, 2003).

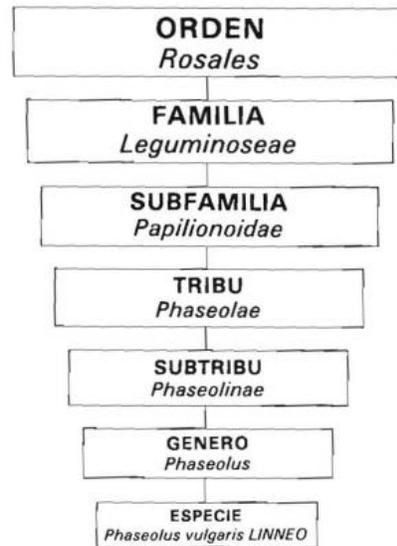
Durante el año de 1978 el frijol en la comarca lagunera su cultivo incremento a comparación con los años anteriores de ese mismo año, lo cual se reportaron 6, 629 hectáreas cultivadas con tal leguminosa. Así mismo para en 1994 se reportó 35.003 hectáreas de frijol cultivado (Pedroza *et al*, 2021).

En la Laguna el frijol se ha alcanzado hasta un promedio de 6.000 hectáreas de superficie sembrado, aunque en otros periodos han llegado a establecer hasta 25.000 en hectáreas en el ciclo primavera verano de 1993, esto es para aprovechar factores climáticos que favorece el crecimiento de la leguminosa. Eso con un rendimiento promedio de 1300 kg/ha. (Mascorro *et al*, 2000).

2.6 DESCRIPCION BOTÁNICA

2.6.1 Taxonomía del frijol

El frijol desde el punto de vista taxonómico esta especie es el prototipo del genero de *Phaseolus vulgaris* L. Asignado por Linneo en el año de 1753. Pertenece a la tribu Phaseolues de la subfamilia Papilionoideae dentro del orden Rosales. (Debouck *et al.*, 1985).



Gráfica 3: Clasificación taxonómica del frijol común.

Citado por: (Debouck et al., 1985)

2.6.2 Característica morfológica del frijol

El cultivo del frijol está compuesta por Raíz, Tallo, Ramas y complejos axilares, Hojas, Inflorescencia, Flor, Fruto y Semilla que son las partes las cuales todas son importantes para su desarrollo e indispensables en la producción.

2.6.2.1 Raíz

Es la parte subterránea de la planta y el primero en desarrollarse y formado por la radícula del embrión, se convertirá en radícula principal o primaria, de esas se obtienen las raíces secundarias desarrollados principalmente en la parte superior o cuello de la raíz principal, se pueden encontrar de 3 a 7 de raíces secundarias y con menor diámetro que la raíz principal, entonces la raíz principal

se caracteriza por su diámetro y mayor longitud. Y el mayor volumen superficial de la raíz se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. (Álvarez, 2019)

2.6.2.2 Tallo

Es un herbáceo en forma cilíndrica o levemente angular por las pequeñas corrugaciones de la epidermis, se caracteriza por ser como el eje central de la planta donde se forman una sucesión de nudos y entrenudos, en ella se origina el meristemo apical del embrión de la semilla; el meristemo crece desde las primeras etapas y tiene una fuerte dominancia apical y en su proceso se genera nudos. Un nudo es el punto de inserción de las hojas en el tallo. El ángulo que forme entre el peciolo de las hojas y la prolongación del tallo se conoce como axila; y en las axilas se desarrollan las inflorescencias. (Álvarez, 2019)

2.6.2.3 Ramas y complejos axilares

Las ramas emergen a partir de un complejo de yemas que se encuentran siempre en la axila de una hoja o en la inserción de los cotiledones. Es conocido como complejo axilar conformado por tres yemas visibles desde el inicio de su crecimiento. Una rama en sus primeros estados de desarrollo se reconoce porque las estipulas de la primera hoja trifoliada de esa rama, las estipulas tienen forma triangular y aplanada; además son visibles los ápices de los folíolos de dicha hoja. De este complejo axilar, además de ramas se pueden desarrollar otras estructuras

como las inflorescencias; el predominio de ramas y/o inflorescencias depende del hábito de crecimiento y de la parte de la planta considerada. (Álvarez, 2019)

2.6.2.4 Hojas

El frijol sus hojas son de dos tipos: simples y compuestas. Se ubican en los nudos del tallo y las ramas. Y en esa se encuentra las estípulas que son de importancia en la sistemática de las leguminosas, en la planta solo se ve dos hojas simples, una primaria aparece en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogénesis. Son opuestos, codiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acumuladas y caen antes de que la planta esté completamente desarrollada.

Las hojas compuestas trifoliadas, son las hojas típicas del frijol. Tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. Tanto el pecíolo como el raquis son acanalados. El foliolo central o terminal es simétrico y acuminado; los dos laterales son asimétricos y también acuminados. (Álvarez, 2019)

2.6.2.5 Las inflorescencias

Se conocen por ser axilares o terminales. También se conoce como racimos de racimos: es decir, un racimo principal compuesto de racimos secundarios, la cual se desarrolla partir de un complejo de tres yemas (triada

floral) que se encuentran en las axilas formadas por las brácteas primarias y la prolongación del raquis.

A demás la inflorescencia está formada por tres partes principales: el eje de la inflorescencia que se compone de pedúnculo y de raquis, las brácteas primarias y los botones florales. Antes de abrir las primeras flores, el pedúnculo de la inflorescencia se alarga rápidamente. El raquis es una sucesión de nudos. Los nudos se distinguen porque se localizan las brácteas primarias. (Álvarez, 2019)

2.6.2.6 La flor

El frijol tiene una flor típica, papilionácea. Durante s desarrollo se distingue dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. La primera que es el botón floral se origina a partir de las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila. En su estado inicial está envuelto por las bractéolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola que aún está cerrada sobresale y las bractéolas cubren sólo el cáliz. Cuando ocurre el fenómeno de antesis la flor se abre. La flor tiene simetría bilateral con las siguientes características. La morfología floral de *Phaseolus vulgaris* L. favorece el mecanismo de autopolinización. En efecto, las anteras están al mismo nivel que el estigma y además ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce la dehiscencia de las anteras (antesis) el polen cae directamente sobre el estigma. (Debouck, et al. 1985).

2.6.2.8 Fruto

El fruto es una vaina con dos valvas, las cuales se desarrollan del ovario comprimido. Por lo que el fruto es una vaina, este cultivo se clasifica como leguminoso. Los colores son diversos, uniformes o con rayas, extendiendo diferencias entre las vainas nuevas o estado inmaduro, las vainas maduras y las vainas completamente secas. El color depende de la variedad. (G. Debouck *et al*, 1984)

2.6.2.9 Semilla

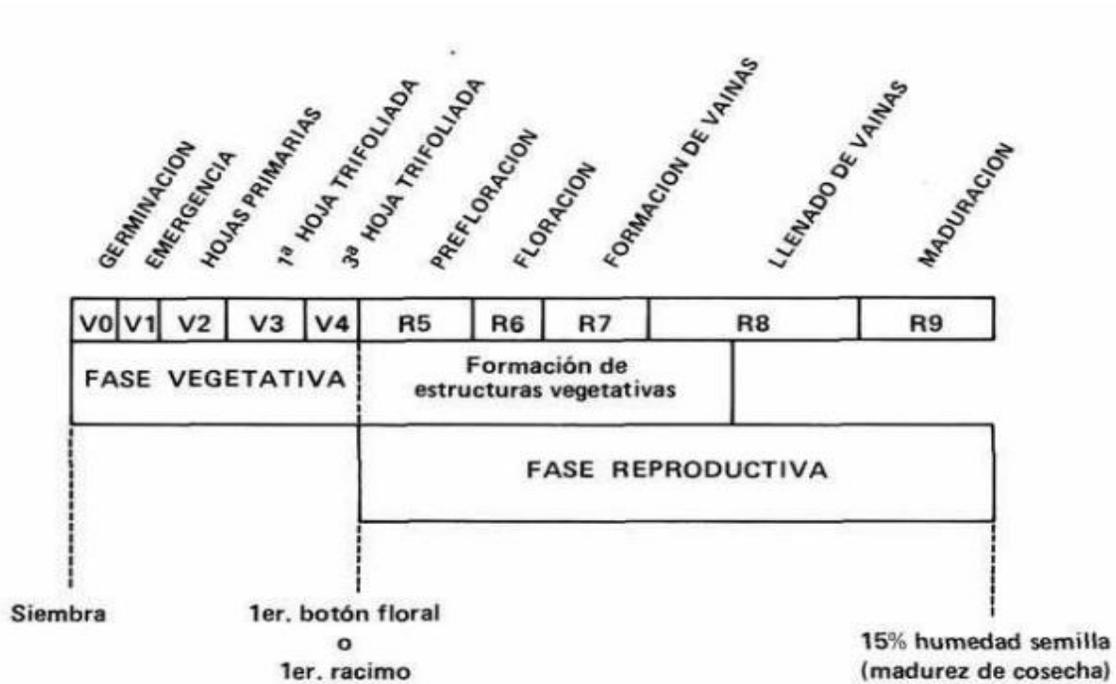
La semilla es el principal sistema reproductora de las plantas. Es lo que se obtiene después de la floración y de otros fenómenos que se dan dentro de la flor. La semilla varía sus colores, es dependiendo de la variedad: rojizas, negras, blancas, amarillas, entre otras. (Atilio Cabrera *et al*, 2008).

2.6.3 Fase fenológico del frijol

La fase vegetativa del frijol está compuesta por cinco etapas de desarrollo las cuales son: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada.

Los cambios dentro de la morfológicos y fisiológicos que ocurren en el ciclo biológico de una planta, ayuda para definir fases o etapas de desarrollo. El

crecimiento de la planta de frijol sucede de manera que sucede en dos fases sucesivas: la vegetativa y la reproductiva.



Gráfica 4: Etapas de desarrollo de una planta de frijol.

Fuente: Fernández *et. al* (2004).

Tabla 1. Etapas de desarrollo en un cultivo de frijol común.

Fase	Etapa		Evento con que se inicia cada etapa
	Código	Nombre	

Vegetativa	V0	Germinación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación
	V1	Emergencia	Los cotiledones del 50 por ciento de las plantas aparecen al nivel del suelo.
	V2	Hojas primarias	Las hojas primarias del 50 por ciento de las plantas están desplegadas.
	V3	Primera hoja trifoliada	La primera hoja trifoliada del 50 por ciento de las planta está desplegada.
	V4	Tercera hoja trifoliada	La tercera hoja trifoliada del 50 por ciento de las plantas está desplegada.
Reproductiva	R5	Prefloración	Los primero botones o racimo han aparecido en el 50 por ciento de las plantas.
	R6	Floración	Se ha abierto la primera flor en el 50 por ciento de las plantas.
	R7	Formación de las vainas	Al marchitarse la corola, el 50 por ciento de las plantas aparecen por lo menos una vaina.

	R8	Llenado de las vainas	Llenado de semilla en la primera vaina en el 50 por ciento de las plantas.
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50 por ciento de las plantas (del verde al amarillo uniforme o pigmentado).
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50 por ciento de las plantas (del verde al amarillo uniforme o pigmentado).

Fuente: (Fernández; F., Gepts; P., López; M. 1986)

2.7 CARACTERÍSTICA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA

2.7.1 Que es el Six sigma

La metodología six sigma es una herramienta de suma importancia para llegar a mejorar la calidad de productos en todo los sectores, se basa en la curva de la distribución normal (para conocer el nivel de variación de cualquier actividad), que consiste en elaborar una serie de pasos para el control de calidad y optimización de procesos industriales. En los procesos industriales se presenta el costo de baja calidad, ocasionado por:

a) Fallas internas, de los productos defectuosos; re trabajo y problemas en el control de materiales.

b) Fallas externas, de productos regresados; garantías y penalizaciones.

c) Evaluaciones del producto, debido a inspección del proceso y producto; utilización, mantenimiento y calibración de equipos de medición de los procesos y productos; auditorias de calidad y soporte de laboratorios.

d) Prevención de fallas, debido al diseño del producto, pruebas de campo, capacitación a trabajadores y mejora de la calidad. (López, 2001).

Six Sigma es una metodología compuesta por cinco fases que sirve como ayuda para poder llegar satisfactoriamente a obtener los productos de alta calidad, y las cuales son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Representa el número de desviaciones estándar obtenidas a la salida del proceso. Su objetivo de aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen los mínimos defectos por millón de unidades producidas. Estos defectos deben ser imperceptibles para el cliente. Actualmente muchas de las organizaciones cuentan con este sistema como estrategia de negocio para aumentar su rentabilidad y mejorar la calidad de sus productos y servicios. (Terrés *et al.*, 2007).

La calidad es uno de los principales objetivos para la satisfacción de los clientes y/o consumidores, además es el medio para lograr atraerlos y

mantenerlos. Para producir productos de calidad es imprescindible implantar en las empresas y en los sectores de producción y en la cultura de la organización una actitud siempre desde la perspectiva del cliente. (Albert *et al.*, 2017).

El método Six Sigma también es conocido como DMAIC, consiste en la aplicación, proyecto a proyecto, de un proceso estructurado en cinco fases donde se puede determinar con más claridad y rapidez las causas de por el cual se deben mejorar para poder crear y obtener una buena calidad de los productos, las cuales son: definir, medir, analizar, mejorar, controlar. (Pérez *et al.*, 2014).

Six Sigma está soportado en una metodología compuesta de cinco fases que permiten evitar errores y para poder detectar en tiempo y forma las causas y solucionarlo en menos tiempo y con un costo menos y para eso tenemos los siguiente: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, comúnmente llamada DMAIC, por sus siglas en inglés (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), y tiene como objetivo aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen solo 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), con lo que los errores o fallas se hacen prácticamente imperceptibles para el cliente Esto ha llevado a muchas organizaciones a implementar Six Sigma como estrategia de negocios para aumentar su rentabilidad, mejorar la calidad de sus productos y servicios, llegando a mejorar su productividad y competitividad. (Felizzola *et al.*, 2014).

La importancia de la metodología de six sigma, al igual que otras metodologías, sobre todo la denominada Reingeniería de sistemas, mejora cualquier proceso existente a través de la revisión y perfeccionamiento continuo del proceso que permite la disminución de los errores. La metodología de six sigma se puede utilizar para crear un proceso completamente nuevo, utilizando los mismos principios aplicados en el control al diseño. SIX SIGMA se esfuerza por lograr la perfección. Permite solamente 3.4 defectos por millón de oportunidades para cada transacción del producto o del servicio con el fin de disminuir los gastos, minimizar el tiempo de igual manera aumentar la producción. SIX SIGMA depende, en lo fundamental, de las técnicas estadísticas y de la modificación experimental del sistema para reducir defectos y aumentar la calidad de la medida. (Rerrés *et al*, 2007).

2.7.2 Antecedentes de Six sigma

El descubrimiento del método Seis Sigma es una filosofía que apareció y lo que permitió a empresas y entre otros sectores, implementar esta técnica para la mejora en la calidad de sus productos y servicios, se da el primer paso en los años ochenta gracias al ingeniero Mikel Harry, a través de la evaluación y análisis de la variación de los procesos en la empresa Motorola. Fue la primera empresa en implantar esta metodología como estrategia de mercado y de mejoramiento de la calidad. Debido a la globalización, las empresas del sector industrial y comercial empezaron a desarrollar técnicas para optimizar los procesos y mejorar su competitividad y productividad. Esta metodología también se enfoca en la mejora

continua. Basada en los conceptos estadísticos de Shewart, Deming, Juran y Taguchi, seis sigma aporta soluciones a corto plazo de problemas repetitivos. Se compone de un diseño robusto además de establecer tolerancias para definir un estándar y saber que productos tienen o no la suficiente calidad para salir al mercado. (Albert *et al.*, 2017).

En 1979 se tuvo la necesidad de buscar una metodología que permitiera mejorar la calidad, se crea la metodología SIX SIGMA en la industria para mejorar la calidad en los procesos de manufactura y alcanzar un nivel de tan sólo 3.4 defectos por millón de unidades producidas (DMUP). Comprende todo un sistema donde se da importancia al establecimiento de metas acordes con los requisitos del cliente, la medición estadística de los resultados, la reingeniería, el trabajo en equipo y la mejora continua. (Terrés *et al*, 2007).

La creación de la metodología six sigma desde que el empresario de Motorola lo introdujo en la empresa para poder mejorar su calidad dentro de. Six sigma ha evolucionado desde su creación en 1987 con una primera orientación a la calidad de productos y procesos, pasando a una segunda generación, de orientación metodológica, basada en el ciclo de mejora DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), para más tarde, en su tercera generación, convertirse en una Estrategia de Mejora. (Matzunaga *et al*, 2017).

La filosofía Seis Sigma comienza en la década de los años 80's, como una estrategia de negocios, que permitió el seguro y mejoramiento de la calidad. Tal

metodología, fue incluida por la empresa norteamericana de telecomunicaciones Motorola. Esta cultura de mejora se fue extendiendo por toda el mundo y por las empresas de clase mundial por su excelente mejora en la creación de cálida cultura de mejora continua ha sido ampliamente extendida y adoptada por otras empresas de clase mundial, tales como: General Electric, Sony, Dupont, NASA, Toshiba, Ford, entre otras” (Gómez, 2019).

El Método de Seis Sigma es una filosofía que inicia en los años ochenta como estrategia de mercado y de mejoramiento de la calidad en la empresa Motorola, cuando el ingeniero Mikel Harry, estableció como meta estimable en la organización, evaluación y el análisis de la variación de los procesos de Motorola, de forma poder ajustarse más a la realidad. Por lo que se tomó como medida estadística confiable la evaluación de la desviación estándar del proceso, representada por el símbolo σ , como indicador de desempeño y a su vez permita determinar la eficiencia y eficacia de la organización. Este descubrimiento se convirtió en el punto importante del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, llamando la atención al director ejecutivo Bob Galvin; con su apoyo, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación. (Herrera *et al*, 2011).

2.7.3 Etapas del Six sigma

Six sigma es una metodología con cinco etapas que permiten la organización, además ayuda a que los proyectos sean medibles y alcanzables a lo largo del tiempo, los cinco pasos para su implementación son:

a. Definir el proyecto o problema de calidad, recopilando la información necesaria que permita analizar las necesidades del cliente.

b. Medir las condiciones del problema, evaluando la capacidad estadística de los procesos, según la información suministrada por el proceso.

c. Analizar las causas del problema, aplicando técnicas estadísticas consistentes, como el Diseño de Experimentos, Contraste de Hipótesis, Modelos lineales y dinámicos.

d. Mejorar las condiciones del proceso, identificando y cuantificando las variables críticas del proceso, implementando soluciones adecuadas a cada una de las causas encontradas y valorando sus resultados.

e. Controlar de las variables críticas del proceso, para que el problema de mala calidad no sea recurrente. (Gómez *et al.*, 2019).

Dentro de la metodología six sigma se encuentran cinco etapas por sus siglas en inglés (DMAIC) que nos ayuda a poder detectar, evaluar, mejorar

y resolver el problema, además en corregir en menos tiempo, es una forma de organizar y llevar un procedimiento para poder solucionar y obtener satisfactoriamente la calidad que se desea en una empresa o cualquier sector. (Anticona *et al.*, 2018).

Se utiliza como base la metodología DMAIC, son etapas y con sus respectivas herramientas que se utiliza dentro de control de calidad y se obtenga un proceso de mejora, sistemático, científico y basado en hechos. Este proceso cerrado elimina pasos improductivos, con frecuencia se enfoca en mediciones nuevas y aplica tecnologías de mejoramiento que nos ayuda a detectar los errores dentro de la producción del producto en este caso la calidad del frijol.

Etapas 1. Caracterización de los Proyectos (Definir)

En esta etapa se busca definir los aspectos generales del proyecto, tales como: título del proyecto, objetivo, planteamiento del problema, equipo de trabajo, programación de las actividades, métricas, variables del proceso, actividades del proceso u otra información necesaria para realizar completa caracterización del proyecto. El desarrollo de la fase comprende básicamente tres actividades:

1. Realizar el Project Charter: la información contenida en el Project Charter varía de acuerdo con el nivel de detalle que la organización requiera, pero como mínimo debe contener: título del proyecto, objetivo, planteamiento del problema, estado actual de las métricas LSS, ahorro proyectado y equipo del proyecto.

2. Hacer un mapeo del proceso y definir variables: antes de emprender cualquier acción se debe analizar a profundidad el proceso a intervenir y sus respectivas variables. En esta actividad se pueden utilizar herramientas como los flujogramas, mapas de procesos, SIPOC o el Mapa de Flujo de Valor.

3. Identificar métricas del proceso: basado en el análisis que se haga del proceso, se identificarán las medidas de desempeño claves sobre las cuales se hará seguimiento durante y después de la ejecución del proyecto.

Etapa 2. Definición de Línea Base (Medir)

Una de las características fundamentales del enfoque LSS es el uso intensivo de datos e información, utilizados para el análisis de los procesos, el diseño de estrategias de mejora y la toma de decisiones. Por esta razón, antes desarrollar las fases de análisis y mejora es necesario asegurar que las fuentes de información y los sistemas de medición sean lo suficientemente confiables, para evitar tomar acciones erróneas que conlleven a la falta de resultados. Adicionalmente, en esta etapa se debe levantar una línea base, que sirva como un punto de partida para evaluar la efectividad de las mejoras alcanzadas con la consecución de cada proyecto. Las actividades en esta etapa son:

1. Validar sistema de medición: un sistema de medición debe ser evaluado con los siguientes criterios: exactitud (Sesgo), linealidad, estabilidad, repetitividad, reproducibilidad y sensibilidad. Según el tipo de dato se pueden utilizar diferentes

métodos estadísticos: Análisis R&R y Estudio de Linealidad y Sesgo para datos continuos; y Análisis de Concordancia, cuando se evalúan atributos.

2. Definir plan de recolección de datos: se debe diseñar un plan de recolección de datos basado en los conceptos de muestreo, esto con el fin de recopilar información necesaria para hacer seguimiento a las medidas de desempeño y realizar análisis estadístico que permita identificar la causa raíz.

3. Definir línea base: se debe definir el estado inicial del proceso, producto o servicios, mediante un análisis de capacidad de proceso y de los cálculos de métricas LSS como el Nivel Sigma, DPO, DPU, DPMO, RTY, Takt Time y Lead Time.

Etapa 3. Identificación de causa raíz (Analizar) Para identificar la causa raíz primero se deben identificar las causas potenciales; en segundo lugar las causas deben ser validadas con la ayuda de métodos estadísticos y análisis por los equipos de trabajo; y por último se deben definir las causas que tienen mayor impacto sobre el problema. A continuación presentan las actividades claves:

1. Identificar causas potenciales: para esto se pueden utilizar herramientas como el diagrama de afinidad, diagrama de Isikawa y Análisis de Modo y Efecto de Fallo (AMEF).

2. Analizar y validar causas: para esto se pueden utilizar herramientas como las pruebas de hipótesis, el Análisis de Varianza (ANOVA), el análisis de correlación, los Diseños de Experimentos (DOE), métodos estadísticos no paramétricos y los métodos estadísticos multivariados.

3. Priorizar y seleccionar causas a trabajar: luego de validadas las causas, se deben priorizar de acuerdo con la contribución que estas tengan sobre el problema o la variabilidad del Proceso, para esto se pueden utilizar herramientas como la matriz causa-efecto y el AMEF.

Etapa 4. Definición de acciones de mejora (Mejorar)

Basada en la causa raíz identificada en la etapa anterior, se deben definir acciones específicas para darle solución al problema y alcanzar el objetivo propuesto con el desarrollo del proyecto. Las soluciones planteadas pueden ser acciones de rápido cumplimiento o también pueden conllevar a la implementación de un conjunto de acciones basadas en buenas prácticas de gestión. En este punto las herramientas de la Manufactura Esbelta juegan un papel fundamental, ya que permiten analizar y diseñar soluciones. Al final, todas las acciones se deben consolidar en un plan piloto que permita hacer seguimiento y control. Las actividades claves en esta etapa son:

1. Definir acciones de mejora: para esto se pueden utilizar herramientas estadísticas y de gestión, no solo para generar ideas y soportar decisiones, sino también para estructurarlas en un plan de acción con actividades concretas. Para

esto se pueden utilizar métodos estadísticos, como el análisis de regresión, DOE, los métodos de superficie de respuesta, la simulación, y también se pueden utilizar herramientas de la Manufactura Esbelta, como las 5S, el Kanban, los Flujos de una Pieza, el Mantenimiento Total Productivo, el SMED, la Gerencia Visual, el Balanceo de Líneas y los Poka Yokes.

2. Implementar acciones de mejora: las acciones de mejora se deben implementar de acuerdo con el plan previamente definido, y sobre el cual se debe hacer un seguimiento periódico para verificar su cumplimiento y tomar acciones correctivas cuando sea necesario.

3. Validar resultados: en la medida que se van implementando las acciones de mejora, se debe evaluar el impacto que estas generan sobre el problema, esto se hace con la revisión y análisis de las métricas LSS, métricas operacionales y métricas financieras. Si no se cumple el objetivo se deben revisar y replantear las acciones definidas.

Etapa 5. Control y mantenimiento (Controlar)

En este punto del proyecto se busca incorporar y estandarizar los cambios introducidos en la etapa de mejora. Por esta razón es importante documentar los procesos o procedimientos modificados, y para esto se puede utilizar el enfoque de aseguramiento de la calidad a través de la ISO 9001.

Adicionalmente se deben diseñar mecanismos para garantizar que los cambios y mejoras alcanzadas se mantengan a lo largo de tiempo, con el fin de darle continuidad más allá del cierre del proyecto. Las actividades claves en esta etapa son:

1. Estandarizar e integrar las mejoras a los procesos: en esta actividad se deben levantar manuales de procedimientos, diagramas de procesos, mapas de procesos, y si la empresa cuenta con un sistema de gestión de calidad, entonces debe actualizar el manual de calidad.

2. Definir mecanismos de control de mejoras: se deben diseñar mecanismos para hacer seguimiento y mantener las mejoras alcanzadas.

Por esta razón es necesario comunicar los cambios a las partes interesadas, y si es necesario capacitarlos, para asumir los nuevos cambios. Para crear disciplina y orden se puede acudir a herramientas como las 5S, y para monitorear indicadores se pueden utilizar los Gráficos de control y la Gerencia Visual.

3. Cerrar proyectos: cuando se han alcanzado las metas e impactos esperados se debe elaborar un informe de cierre de proyecto, mediante el cual se pueda comunicar a las partes interesadas, de forma clara y precisa, todos los resultados del proyecto. (Jiménez *et al.*, 2014).

Dentro de la metodología del six sigma se obtiene un objetivo estructurado que permite una mejor obtención de respuesta y sistemático que se resume en cinco fases identificadas como DMAIC (por sus siglas en ingles Define, Measure, Analyze, Improve, Control), las que proporcionan un marco adecuado para guiar el proceso de mejora, proponiendo en cada fase objetivos que van desde identificar los procesos a intervenir, evaluar los sistemas de estabilidad, capacidad y medición, identificar causas reales que afectan el proceso, identificar, priorizar, seleccionar e implementar soluciones para controlar y/o eliminarlas causas identificadas e implementar un plan de control para asegurar que el problema no vuelva a ocurrir. (Vergara *et al.*, 2019).

Seis sigma es una metodología rigurosa de mejoramiento desarrollada por Motorola en los años 80, cuyo principio fundamental es el enfoque al cliente. Utiliza el proceso DMAIC que es lo que marca el rumbo del funcionamiento del método. Con esta sucesión d pasos se consigue la mejora y con la ayuda de los métodos estadísticos con el fin de: Definir los problemas y situaciones a mejorar, Medir para obtener información y datos, Analizar la información recolectada, Implementar mejoras a los procesos y finalmente, Controlar los procesos o productos con el objetivo de alcanzar resultados sostenidos, lo que a su vez genera un ciclo de mejoramiento continuo. (Celis *et al.*, 2012).

Seis sigma es un método de gestión de calidad combinado con herramientas estadísticas cuyo propósito es mejorar el nivel de desempeño de un proceso mediante decisiones acertadas, logrando de esta manera que la organización comprenda las necesidades de sus clientes.

El método SIX SIGMA, conocido como DMAMC, se basa en el ciclo de calidad PDCA, propuesto por Deming; en donde las etapas se operan en cinco fases las cuales son:

1. Definición del proyecto.
2. Medición de la información suministrada por el proceso y los clientes de la organización.
3. Análisis de la información, en donde se aplica algunas herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.
4. Mejoramiento, etapa en la cual se proponen las soluciones de los problemas de calidad planteados.
5. Control, el cual incluye los métodos estadísticos de seguimiento a las variables del proceso. (Herrera *et al.*, 2011).

2.7.4 Herramientas de Six sigma

Para la mejora en la calidad con base al six sigma se utilizan herramientas estadísticas para mejorar la calidad, con estas herramientas se hace un control y disminución de la variación en los procesos. Estas herramientas son para conocer los problemas en el área de producción y saber el porqué de los defectos. Las principales herramientas que se utilizan en el Six-Sigma son:

a) Diagrama de Flujo de Procesos; con el cual se conocen las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas.

b) Diagrama de Causa-Efecto; es utilizado como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en el proceso.

c) Diagrama de Pareto; se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una (empezando con la mayor y después con las posteriores o con la que sea más accesible).

d) Histograma; con el cual se observan los datos (defectos y fallas) y se agrupan en forma gaussiana conteniendo los límites inferior y superior y una tendencia central.

e) Gráfica de Corrida; es utilizada para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo, para detectar cambios significativos en el proceso.

f) Gráfica de control; se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y los límites superior e inferior.

g) Diagrama de Dispersión; con esta herramienta se puede relacionar dos variables y obtener un estimado usual del coeficiente de correlación que existe entre esos dos variables.

h) Modelo de Regresión; es utilizado para generar un modelo de relación entre una respuesta y una variable de entrada. (López, 2011).

Para Six Sigma en los proyectos se utiliza dos tipos de herramientas que permite lograr la obtención de la calidad y la satisfacción de los clientes, con las herramientas se hace una recolección de información y por medio de un análisis estadístico encontrar o lograr una mejor calidad. Unas de tipo general como las siete herramientas de calidad, carta de proyecto (Project chart), plan de recolección de datos (data collection plan), matriz de asignación de responsabilidades (raci), análisis de interesados (stakeholders analysis), matriz de proveedores-entradas-procesos-salidas clientes (SIPOC), mapa de la cadena de valor (value stream mapping) que se emplean para la recogida y tratamiento de datos. Las otras, específicas de estos proyectos, son herramientas estadísticas, entre las que cabe citar los estudios de capacidad del proceso, análisis ANOVA, contraste de hipótesis, diseño de experimentos, simulación de procesos y también algunas utilizadas en el diseño de productos o servicios, como el QFD y AMEF. (Pérez *et al.*, 2014).

Al implementar six sigma para hacer control de calidad en cada fase se va creando dentro de esas herramientas y tecnicas que ayudaran la medicion y describir el proceso. Por ultimo, analisis de datos y buscar corregir o la busqueda de la perfeccion en la etapa de medicion se tiene los siguientes herramientas:

Histograma: proveen la forma de distribución de los datos, así la tendencia central y la variabilidad se puede estimar fácilmente. Los limites inferiores y superiores se pueden sobreponer para estibar la capacidad del proceso.

Diagrama de tendencia: son utilizados para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo, lo que permite observar y seguir los defectos en un proceso.

En la etapa de analizar, sistema con el fin de eliminar la brecha entre el desempeño actual y el objetivo deseado. El objetivo es empezar a entender por qué se generan los defectos, con el uso de herramientas estadísticos se identifican las variables clave que dan lugar a los defectos.

Diagrama de Causa-Efecto: utilizados como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en los procesos.

Diagrama de dispersión: con los cuales se pueden relacionar dos variables. Permiten hacer estimaciones a primera vista e identificar puntos extraordinarios.

En la etapa de controlar se garantiza que el proceso modificado permita ahora a las variables clave permanecer dentro de los márgenes utilizando

herramientas como el Control Estadístico de Proceso (SPC) y grafica de control que se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y limites superiores e inferiores.

Diagrama de Pareto: Es un gráfico de barras que ayuda y permite identificar prioridades y causas, ya que se ordenan por orden de importancia a los diferentes problemas que se presentan en un proceso.

Hoja de verificación (obtención de datos): Hoja de verificación Es un formato construido para coleccionar datos, de forma que su registro sea sencillo y sistemático, y se puedan analizar visualmente los resultados obtenidos. Que confirmen posibles causas de problemas de calidad.

Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto): El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.

Diagrama de dispersión: Diagrama de dispersión Es una gráfica cuyo objetivo es analizar la forma en que dos variables numéricas están relacionadas, que permiten si hay una correlación entre dos variables.

Diagrama de flujo de proceso: Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso. Ahí se observan los dos símbolos más usados en su construcción: con un rectángulo, se identifica un paso o tarea del proceso, mientras que con un rombo se distinguen los puntos de verificación o de decisión.

Diagrama PEPSU: Este diagrama de proceso tiene el objetivo de analizar el proceso y su entorno. Para ello se identifican los proveedores (P), las entradas (E), el proceso mismo (P), las salidas (S) y los usuarios (U).

Los pasos para realizar un diagrama PEPSU son los siguientes:

1. Delimitar el proceso y hacer su diagrama de flujo general donde se especifiquen las cuatro o cinco etapas principales.
2. Identificar las salidas del proceso, las cuales son los resultados (bienes o servicios) que genera el proceso.
3. Especificar los usuarios/clientes, que son quienes reciben o se benefician con las salidas del proceso.
4. Establecer las entradas (materiales, información, etc.) que son necesarias para que el proceso funcione de manera adecuada.

5. Por último, identificar proveedores, es decir, quienes proporcionan las entradas.

Sistemas poka-yoke: poka-yoke Se refiere al diseño de dispositivos a prueba de errores y olvidos. Con esto ayuda a identificar donde, cuando y como están ocurriendo las fallas, para poder analizar y a mejorar las acciones correctivas eliminando los procesos o defectos. (Gutiérrez *et al.*, 2018)

Six sigma usa dos tipos de herramientas. La primera es de forma general que consiste por lo menos de siete herramientas de calidad las cuales son: carta de proyecto (Project chart), plan de recolección de datos (data collection plan), matriz de asignación de responsabilidades (raci), análisis de interesados (stakeholders analysis), matriz de proveedores-entradas-procesos-salidas clientes (sipoc), mapa de la cadena de valor (value stream mapping) que se emplean para la recogida y tratamiento de datos. Las otras herramientas son más específicas para los proyectos, cabe mencionar que son herramientas estadísticas que permiten mediante cálculos y procedimientos obtener un buen resultado, análisis ANOVA, contraste de hipótesis, diseño de experimentos, simulación de procesos y también algunas utilizadas en el diseño de productos o servicios, como el QFD y AMFE. Y ahora estas herramientas son permitidas su uso para personas sin gran conocimiento de estadística, lo que permite su uso a todo servidor. (García, 2020)

La metodología six sigma como lo menciono Deming; el enemigo de todo proceso es la variación. Para eso se usa herramientas estadísticas que permite ser utilizadas para la solución de problemas atinentes a la calidad, esto para

cualquier industria hará que reduzca la variabilidad de un proceso ya sea de crear producto u operación y además reduce también los costos. Para resolver esta problemática se crearon las siguientes herramientas:

Diagrama de Pareto Este diagrama permite hacer una variación del histograma tradicional, puesto que en el Pareto se ordenan los datos por su preferencias de mayor a menor. Al aplicar esta teoría en la práctica, sin embargo este principio se aplica con mucho éxito en muchos ámbitos. Entre ellos en el control de calidad, ámbito en el que suele ocurrir que el 20% de los tipos de defectos, representan el 80% de las inconformidades, el objetivo de un diagrama de Pareto es el de aclarar prioridades.

Histograma, este diagrama de barras es un gráfico que muestra la frecuencia de cada uno de los resultados cuando se efectúan mediciones sucesivas, este grafico deja observar de qué valor se agrupan las mediciones y cuales es la dispersión alrededor de este valor. La utilidad en función de control de calidad que presta representación radica en la posibilidad de observar rápidamente información aparentemente oculta en un tabulado inicial de datos. (Palom, 1991).

Un diagrama de flujo representa la información o el proceso. Cada paso del proceso es representado por un símbolo diferente que contiene breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección del flujo del proceso. Esta herramienta ofrece una descripción visual de las actividades en un proceso mostrando la

relación secuencial entre ellas, facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, el flujo de información y los materiales, las ramas en el proceso, y así mismo, el mapeo de proceso. (Ogata, 2003).

Gráfico de control, herramienta estadística representa en forma gráfica los distintos valores que toma una característica correspondiente a un proceso. Permite observar la evolución de este proceso en el tiempo y compararlo con unos límites de variación fijado de antemano que se usan como base para la toma de decisiones. (Chamorro, 2007).

Diagrama Causa-Efecto, permite observa algunas inconformidades con alguna característica de calidad de un producto o servicio, ya que la variabilidad de calidad es un efecto o consecuencia de múltiples causas. Para esto se usa este diagrama también conocido como diagrama de Ishikawa. Para esto se necesita dos puntos claros como es: elegir la característica de calidad que se va a analizar. Por ejemplo, en la producción de frascos de mermelada, la característica podría ser el peso del frasco lleno la densidad y los grados brix. Trazando una flecha gruesa que indique o represente el proceso y al sentido contrario se escribe las características de calidad. Y el siguiente sería indicar los factores causales más importantes que pueden generar la fluctuación de la característica, para esto se usan flechas para señalar la dirección en que se va dando los factores causales. (Muñoz, 2016).

Los diagramas de mapeo de flujo de valor son útiles para entender cómo se relacionan los distintos departamentos, unidades operativas, etcétera, ante un determinado proceso. En otras palabras es una técnica para diagnosticar el proceso y determinar a dónde y porqué ocurren fallas importantes. Por lo tanto el mapeo de un proceso es el primer paso a realizar antes de evaluarlo. La comprensión de cómo varias actividades están interconectadas y donde podrían estar fallando las conexiones o actividades, es decir reconocer el desperdicio y reconocer sus causas. La estrategia de las 5's es llamada así porque representa acciones expresados con cinco palabras japonesas que empiezan con la letra S. y cada palabra consta de una acción importante para la formación de un lugar digno y seguro donde trabajar. Las herramientas 5´ S son los métodos que facilitan la transición y la organización y se describe como:

Seiri: (Organización). Consiste en identificar y separar los materiales necesarios de los innecesarios y en desprenderse de éstos últimos.

Seiton: (Orden). Consiste en establecer el modo en que deben ubicarse e identificarse los materiales necesarios, de manera que sea fácil y rápido encontrarlos, utilizarlos y reponerlos, un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.

Seiso: (Limpieza). Una vez el espacio de trabajo está despejado y ordenado es mucho más fácil limpiarlo. Consiste en identificar y eliminar las fuentes de suciedad, asegurando que todos los medios se encuentran siempre en perfecto estado operativo.

Seiketsu. (Estandarizar). Consiste en distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y visibles para todos, en esta etapa es útil la herramienta Lean llamada "gerencia visual".

Shitsuke-, (Disciplina). Consiste en trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas. Es también una etapa de control riguroso de la aplicación del sistema mediante una comprobación continua y fiable de la aplicación del sistema 5's y el apoyo del personal implicado. La integración de las 5's satisface múltiples objetivos.

Poka yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La idea básica es frenar el proceso de producción cuando ocurre algún defecto, definir la causa y prevenir que el defecto vuelva a ocurrir. La clave es ir detectando los errores antes de que se conviertan en defectos, e ir corrigiéndolos para que no se repitan. Un dispositivo Poka-yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo. En cualquier evento, no hay mucho sentido en inspeccionar productos al final del proceso; ya que los defectos son generados durante el proceso, todo lo que se está haciendo es descubriendo esos defectos. Sumar trabajadores a la línea de inspección no tiene mucho sentido, debido a que no hay manera en que se puedan reducir los defectos sin la

utilización de métodos en los procesos que prevengan en primer lugar que ocurran los errores.

Mantenimiento Productivo Total (TPM) es la traducción de Total Productive Maintenance. El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos (Masaji y Gotoh, 1992). El Mantenimiento Productivo Total es una de las herramientas de la Manufactura Esbelta, la cual se compone por una serie de actividades las cuales están ordenadas y que una vez que son implantadas ayudan al mejoramiento de la competitividad de una organización industrial o de servicios. (Muñoz, 2016)

En análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis que se plantea en un diseño de experimentos de dos o más poblaciones o diferencias entre tratamiento, la idea central es separar la variación total de la variable respuesta en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento, es decir, se separa la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos son aceptables, dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan contribuyen igual o menos que el error, por lo que se concluye que las medias son iguales. (Hernández, 2014).

2.7.5 Para qué sirve el Six sigma

Seis sigma es una metodología que su principal objetivo es mejorar los procesos que se interesa en reducir los errores, así mismo hacer que se reduzca o eliminar los defectos o las fallas en un proceso con el propósito de incrementar la rentabilidad y productividad de los productos y servicios y sean más eficiente. (Vergara *et al.*, 2019).

El Six Sigma es una metodología que pretende conseguir que el 99,9996% de los resultados de un proceso estén dentro de las especificaciones marcadas y esperadas por el cliente. Y por supuesto mejorar el proceso que su objetivo es alcanzar la excelencia operacional basada en la reducción de la variabilidad de los mismos. Encontrar que el desarrollo de un proceso sea estable, robusto y confiable y para lograr que los defectos o fallos de entrega resultantes de un proceso sean como máximo 3,4 defectos por cada millón de oportunidades (3,4 DPMO); solamente cuando se alcanza dicha meta, se considera que un proceso es Six Sigma. (Muñoz, 2016).

Six Sigma es un programa de mejora de procesos que combina dos ideas: Lean una colección de técnicas para reducir el tiempo necesario para proporcionar productos o servicios, y Six Sigma es una de las técnicas para la mejora de la calidad de los productos y servicios, contribuyendo sustancialmente a una mayor satisfacción del cliente. A primera vista sus enfoques difieren, lo que nos lleva a veces a cuestionar su compatibilidad. Pero si comprendemos sus principios fundamentales se puede conseguir una complementariedad perfecta entre ambas.

Combinando la calidad que aporta Six Sigma con la velocidad de Lean nos lleva a la siguiente deducción: la calidad mejora la velocidad y la velocidad mejora la calidad. (Chiaburu, 2014).

Six sigma es una metodología que sirve para examinar los procesos y llevar la calidad hasta niveles cercanos de la perfección para eso se centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente. La meta de Seis Sigma es llegar a un máximo de 3.4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente. (Hernández, 2014).

2.7.6 Control de calidad en el sector agrícola con la metodología Six sigma

En la empresa Grupo Alimenticio “El Mixteco” se tienen el objetivo de encontrar mejoras dentro de la línea de producción hasta la entrega de producto al consumidor final, por lo que se utiliza la metodología Seis sigma para encontrar las problemáticas principales y realizar cambios notables que como consecuencia positiva mostrar mejoras a corto, mediano y largo plazo; basándose en las 5 etapas de la metodología que son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Implementar y controlar (DMAIC por sus siglas en ingles).

Como resultado de esta metodología se fijó como área de oportunidad el proceso de producción de chiles en escabeche, proponiendo una mejora que acabaría con el incumplimiento de los pedidos, a pesar que el método anterior

funcionaba, pero existía la posibilidad de implementar algunas modificaciones que pueden contribuir al desarrollo de la empresa y así mismo mejorar notablemente el proceso de producción así como aumento en la producción, una reducción de costos y tiempo, por lo que la empresa implemento el nuevo modelo y se usa ahora como un estándar dentro de la empresa de chiles en escabeche. (Muñoz, 2016).

2.7.7 Beneficios del Six sigma en control de calidad

Una empresa o industria o productos de cualquier sector que cuenta o está basado por la metodología six sigma ofrece a los clientes o trabajadores un excelente productos o servicios con una mejor calidad y de una manera más rápida y a más bajo costo mediante la reducción de la variación de cualquiera de los procesos. Dice que aunque a muchas personas les ha costado entender, una de las grandes enseñanzas del Deming fue buscar el control de variación de los procesos lo cual es medido por medio de la desviación estándar. Decía Deming: “el enemigo de todo proceso es la variación, por lo que es ahí en donde debemos concentrar el esfuerzo hacia la mejora continua”, pero sobre todo porque “La variación es el enemigo de la satisfacción de nuestros clientes” (Hernández, 2014).

Six sigma es una herramienta que sirve para mejorar la calidad del proceso, producto y servicios, dando mayor rentabilidad y crecimiento al negocio y de igual forma disminuir los costos de producción, así también obtener en menos tiempo. Esta metodología puede ser usada en todas las áreas que componen la organización y no solamente a un departamento específico como el de la calidad. Seis sigma evidencia en forma clara y concisa los pasos a seguir para la solución de un problema real planteado para la mejora de calidad. (Morales, 2007).

El Six Sigma se basa en la reducción de variaciones y el mejoramiento del desempeño de los procesos y productos de una organización, y se fundamenta en la identificación, medición y minimización de errores, defectos y retrasos que afectan los costos y la satisfacción de los clientes. Adicionalmente, tiene como objetivos permitir la eliminación de las actividades que no generan valor, maximizar la calidad y aumentar la rentabilidad¹². Por su parte, Pande y Holpp¹³ indican que el Seis Sigma es una forma inteligente y planificada de dirigir un negocio o proceso buscando el cumplimiento de tres objetivos:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo de ciclo
- Reducir los defectos

A partir de los objetivos descritos, se puede indicar que el Seis Sigma debe permitir ahorros en los costos, así como oportunidades para retener a los clientes,

capturar nuevos mercados y desarrollar un enfoque de empresa de clase mundial.(Gómez *et al.*, 2013).

2.7.8 Control de calidad en el sector agrícola

Las empresas agrícolas utilizan principalmente Six Sigma en su actividad. La mayoría de los proyectos están relacionados con el aumento de rendimiento de los cultivos, el reciclaje de la materia orgánica, la creación de mecanismos integrados de control biológico. Los proyectos más recientes son cada vez más orientados al medio ambiente y están relacionados con la contaminación, los biocombustibles alternativos, los productos orgánicos. (Ayala *et al.*, 2010).

2.7.9 Las normas ISO en Six sigma

Para que las organizaciones pudieran usar herramientas y métodos de mejora continua en los sistemas de gestión de calidad como el caso de six sigma se tiene que tener o apoyar en la norma ISO 9004, debido a que esta puede llegar hacer un gran aliado, porque está orientada al desempeño y la gestión de la calidad, la norma ISO 9004 recomienda seguir 8 pasos fundamentales, para garantizar el éxito sostenible de la mejora continua y obtener beneficios a largo plazo, teniendo en cuenta los recursos utilizados, garantizando la participación de las personas, detectando las oportunidades de mejora, encontrando la relación que hay entre causa y efecto aplicando las acciones preventivas y correctivas, documentando todos los procedimientos e información clave. (Torregrosa *et al.*, 2019).

Las normas ISO 9001 ayuda a sobrevivir en un mercado mucho más competitivo, como algunas empresas colombianas se han dado la oportunidad de certificar sus sistemas de gestión de calidad basándose a la norma ISO 9001; que esto ayuda a dar más oportunidades a las empresas a obtener y demostrar su compromiso con la calidad por medio de la estandarización de algunos aspectos del negocio y el cumplimiento de otros puntos requeridos por la norma, sin embargo parece no ser suficiente, por lo que se tienen que evaluar otras alternativas. La metodología Seis sigma que busca un nivel de calidad extremadamente alto ha sido tomada por algunas industrias como la herramienta que puede ayudar a alcanzar esa calidad necesaria para competir en cualquier escenario. (Ramírez, 2012).

Las normas ISO 9000:2000 se creó con el fin de poder facilitar el comercio de bienes y servicios por todo el mundo, ya que había la necesidad de armonizar y normalizar los aspectos asociados a la calidad en el caso el six sigma. Y eso fue el motivo de Organization for Standardization, creara las normas ISO 900, y con estas Normas lo que se quería es crear una serie de reglas que fueran de aplicación internacional, a la vez que garantizaran unos niveles de calidad determinados. Y hasta en la actualidad las normas ISO se están convirtiendo en una licencia para competir en el ámbito internacional. (Gutiérrez *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La región lagunera se encuentra ubicada entre los paralelos ($25^{\circ} 42'$ y $24^{\circ} 48'N$) y se encuentra ubicada entre los meridianos ($103^{\circ} 31'$ y $102^{\circ} 58'O$) y con una altura de 1, 139 msnm, localizada en la parte suroeste del estado de Coahuila y Noroeste del estado de Durango, al norte con el estado de Chihuahua y el sur con el estado de Zacatecas (INEGI, 2009).

3.2 Localización del experimento

El experimento se realizó en el período de primavera - verano de 2020 en el campo experimental de San Antonio de los Bravos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México.

3.3 Genotipos

Se utilizaron cuatro variedades de frijol: Pinto centauro (A), Pinto saltillo (B), Pinto criollo (C) y el testigo.

3.4 Procedimiento experimental

3.4.1. Preparación del terreno.

a) Se realizó el barbecho con la finalidad de exponer a la intemperie las partes enterradas del suelo.

b) Se realizó el rastreo con la finalidad de ablandar la capa 0-30 cm del suelo arable.

3.4.2 Siembra.

Se procedió a la siembra el 2 de mayo del 2020 de tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*): Pinto Centauro (A), Pinto Saltillo (B), Pinto criollo (C) mediante el diseño bloques al azar con tres repeticiones; con una densidad de siembra de 24 semillas por metro lineal con una superficie de 27 m² y 81m².

3.4.3. Labores culturales.

3.4.3.1. Aporque.

La principal funciones de esta labor es fortalecer el tallo de la planta, agregando con ayuda de las manos tierra al pie de la planta para darle firmeza y permitir que la planta siguiera conservando la humedad.

3.4.3.2. Deshierbe.

La actividad fue constante durante el ciclo vegetativo del cultivo. Se realizó la actividad de manera manual y en ciertas ocasiones se empleó el azadón. Para evitar que en la maleza se resguardara algún tipo de hospedero.

3.4.4. Riego

Se aplicaron 3 riegos de auxilio. El primero se realizó 13 días después de la siembra, el segundo 23 días después del riego anterior y por último el tercero 24 días después del riego anterior.

3.4.5. Fertilización

Al momento de realizar los bloques en el campo experimental se aplicaron 2 litros de lixiviado de vermicomposta por cada bloque.

3.4.6. Aplicaciones de insecticida

La primera aplicación de insecticida fue el 10 de septiembre del 2020, con el productor comercial Muralla Max. A razón de 250 ml diluidos en 200 litros de agua; este insecticida se aplicó para combatir la mosquita blanca (*Bemisia tabaco*). Posteriormente se realizaron 2 aplicaciones más, cada una con 30 días de diferencia.

3.4.7. Cosecha.

La cosecha se realizó el 29 de septiembre del 2020, donde se procedió el corte del frijol. Para así dejarlo postrado en el terreno durante 7 días para lograr el secado completo de la planta. Esto con la finalidad de recolectar el grano de frijol.

3.5. Variables evaluadas.

Durante el desarrollo del cultivo fueron evaluadas 3 variables altura de planta, peso promedio del grano seco y peso promedio de grano seco en 15 plantas ajustando su desarrollo a las funciones lineales y cuadráticas; y al diseño de experimentos bloques al azar.

3.5.1. Altura de planta

Para tomar las medidas de la altura de la planta se utilizó cinta métrica, cada valor que se registró, se tomó la base del suelo hasta la punta de la planta.

3.6 Aplicación de la metodología Six sigma por etapas y con sus respectivos herramientas

3.6.1 Etapa 1: Definir

3.6.1.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en el período de primavera - verano de 2020 en el campo experimental de San Antonio de los Bravos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México.

3.6.1.2 Genotipos

Se utilizaron cuatro variedades de frijol: Pinto Centauro (A), Pinto Saltillo (B), Pinto criollo (C) y el testigo.

3.6.1.3 Objetivo

Este proyecto principalmente pretende la mejora en el crecimiento de las tres variedades de planta de frijol a través del fertilizante utilizado ya sea orgánico e inorgánico. Lo que nos va a generar un proyecto centralizado en la altura de las plantas a lo largo de los 100 días.

3.6.2 Etapa 2: Medir

3.6.2.1 Plan de Trabajo

Tabla 2: Plan de trabajo donde se enlista las actividades realizadas durante el proyecto.

Fecha de siembra:		6 de Mayo de 2019															
Fecha de nacimiento:		18 de Agosto de 2018															
Actividades	Fecha	Mayo			Junio			Julio			Agosto						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
Definir																	
Definir proyecto y metricos del problema																	
Definir equipo																	
Inicio de la medición de la variable altura	23-may																
Riego 1 de auxilio	26-may																
Medir y Analizar																	
Describir el proceso																	
Primer deshierbe:	04-jun																
Azadonéo para fortalecer planta:	07-jun																
2 riego de auxilio:	10-jun																
Fumigación contra trozadores y otras plagas	13-jun																
Documentar los hallazgos durante el proceso																	
Medir y analizar las variaciones																	
Determinar variables significativas																	
Implementar																	
Ajustar modos de falla																	
Estimar beneficios para la mejora del proceso																	
2 deshierbe:	16-jun																
Medición de No de ejotes por planta	25-jun																
3er Riego de auxilio	25-jul																
Control																	
Corte de planta para secado de grano	08-ago																
medición de peso en grano seco	18-ago																
Implementar acciones de control																	
Implementar planes de control																	
Documentar los cambios																	

3.6.2.2 Identificación del sistema de medición

En la tabla 2 muestran los resultados de cómo se midieron los factores requeridos por el cliente, como la altura de la planta se midió la altura desde el nivel del suelo hasta el ápice utilizando una cinta métrica la cual los datos se registraron en una base de datos y se realizó cada tercer día esto permite tener un registro en el desarrollo de la planta.

Tabla 3: Identificación del sistema de medición.

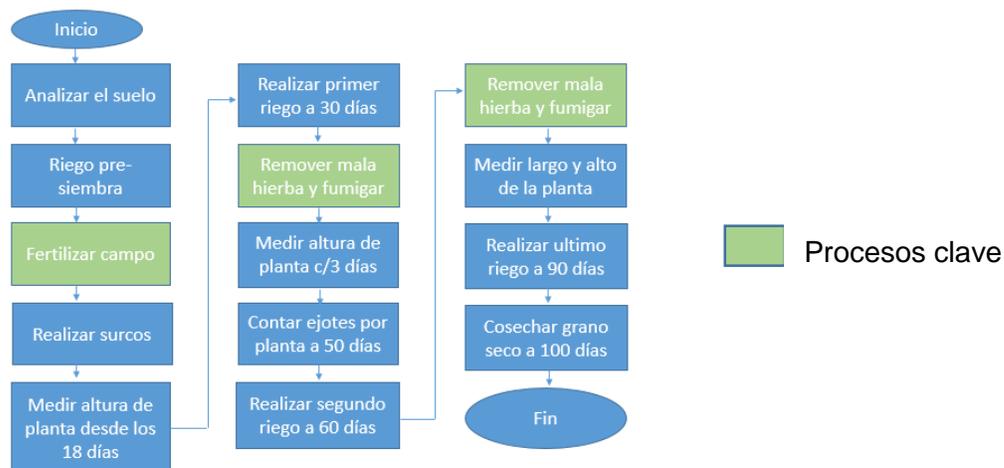
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Indicador	¿Qué se mide?	¿Se mide o se medirá?	¿Cómo se mide?	¿Con que se mide?	¿Cómo se aplica el instrumento	¿Cómo se preparan los datos para analizarlos?	¿Con que frecuencia se mide?	¿Cuál es o sería su registro?
Y1	Altura de planta	Se mide	La altura en cm desde el suelo hasta la altura maxima de la planta	Cinta metrica	Inspección visual	Mediante una base de datos	Cada 3 días	Base de datos
Y2	Cantidad de ejotes	Se medira	Mediante una inspección de conteo	Conteo	Inspección visual	Al final de los 100 días se realiza el conteo	100 días	Base de datos
X1	Grosor de tallo	Se medira	El grosor se mide en cm en cm	Cinta metrica	Inspección visual	Mediante una base de datos	100 días	Base de datos
X2	Fertilizante	Se mide	Estandar	Equipo de Laboratorio	Inspección visual	Al inicio del proceso	Solo 1 vez	Base de datos

3.6.2.2 Mapear el proceso del proyecto (SIPOC, Mapa de Diagrama de Flujo el actual y el ideal).

3.6.2.3 Diagrama de Flujo

En la gráfica 5 permitió conocer las etapas o procesos que se realizaron desde el inicio del experimento después el siguiente pasó así como es el análisis de suelo hasta la cosecha de granos que fue hasta los 100 días.

Siendo así se tiene una leyenda que da a conocer los procesos claves que son los más esenciales



Gráfica 5: Diagrama de flujo.

Diagrama SIPOC

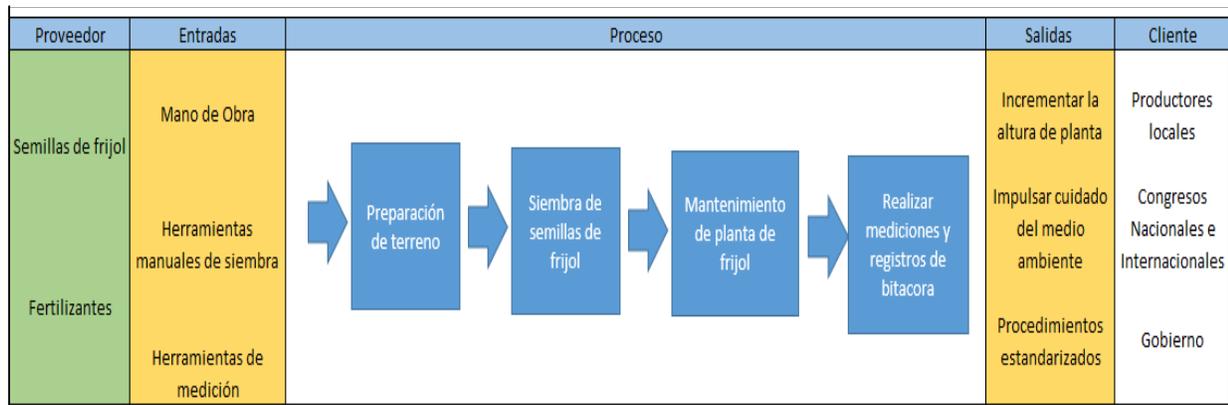
En la tabla 3 muestra los proveedores, es decir, los que proporcionan las semillas y los fertilizantes que se usaron, y en las entradas son todo lo que se usaron de herramientas así también como mano de obra durante y después de la cosecha.

En el proceso se mencionan los trabajos realizados desde la preparación del terreno hasta realizar mediciones y registro de bitácoras.

En salidas es el resultado de las actividades realizadas en la etapa de proceso así como el mantenimiento de la planta de frijol que fue en el proceso, en salida se obtuvo como resultado el incremento en la altura de la planta.

Y por último en clientes es también el resultado de las salidas, una buena producción de frijol se le ofrece al cliente un producto de calidad.

Tabla 4: Diagrama SIPOC.



3.6.2.4 Definir las X's = Variables de entrada a ese proceso (Con el equipo).

En la tabla 4 se encuentran todas las entradas X's que el equipo definió las siguientes entradas X's para el proceso como son la preparación de terreno, siembra de la semilla del frijol, mantenimiento de la planta, medición de la altura y registro de bitácora.

Tabla 5: Entradas X's.

Etapa del proceso SIPOC	Metrico	Tipo de Metrico	Status de Medción	Unidades	Comentarios	Definición Operativa
Preparación del terreno	Fertilizante	Entrada	Vigente	Por planta	Establecer procedimiento	Por planta
Preparación del terreno	Riego	Entrada	Vigente	Por planta	Establecer procedimiento	Por planta
Siembra de semillas de frijol	Distancias	Entrada	Vigente	Por planta	Establecer procedimiento	Por planta
Mantenimiento de plantas de frijol	Inspeccionar planta	Entrada	Vigente	Por planta	Establecer procedimiento y programa	Por planta
Mediciones de altura y registros de bitacora	Altura de planta y hallazgos	Entrada	Vigente	Por planta	Actualizar y documentar	Por planta

3.6.2.5 Definir la Y = Variable de respuesta (Continua o Discreta).

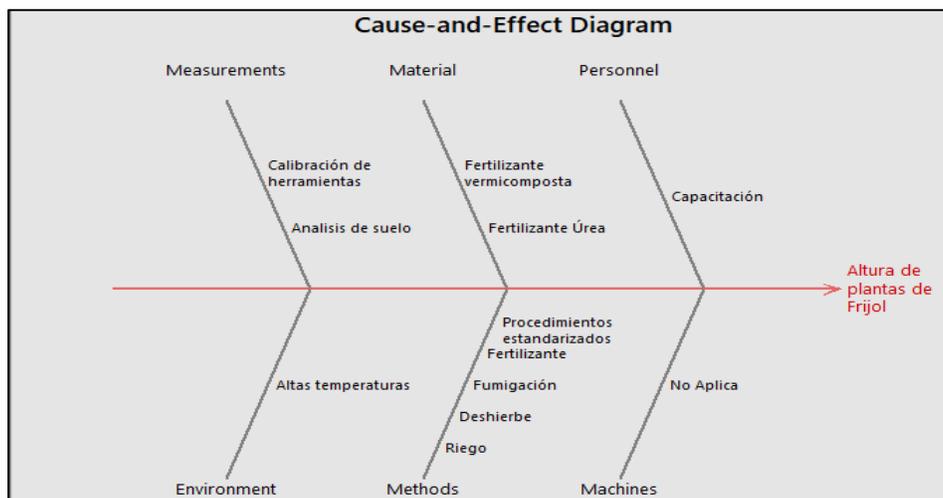
La Y se definió la variable de respuesta para el proyecto es la altura de la planta de frijol, la cual es una variable de tipo continua.

3.6.3 Etapa 3: Analizar

Con base a los resultados obtenidos en las mediciones se detectó las posibles causas que están influyendo en la producción del cultivo de frijol especialmente en la altura de la planta.

3.6.3.1 Desarrollar el análisis de causa raíz seleccionando una herramienta (lluvia de ideas, correlaciones e histogramas, análisis de Pareto, diagrama de pescado, afinidad y los 5 ¿Por qué?)

La grafica 6 que corresponde a causa-efecto se muestra los principales causas que influyen en el desarrollo del cultivo, las cuales son: las mediciones, esto se enfoca en el análisis de suelo, la distancia entre plantas durante la siembra; los materiales que se usaron y se aplicaron como el fertilizante ya tanto orgánico e inorgánico; otra de las causa fue el personal o encargado no capacitado en la producción del cultivo de frijol; también el ambiente fue causa como las altas temperaturas da un efecto en el desarrollo del cultivo y el método es una causa que da efecto en el desarrollo ya que si en algunas de los métodos no se cumple o se tarda en hacer da una negatividad en el cultivo y en máquinas en este caso no aplica por lo mismo que no se usaron.



Gráfica 6: Diagrama causa-efecto.

3.6.3.1 Definir relaciones entre Y y X's (Causa y Efecto (C&E)).

Se realizó análisis de QFD para determinar con el equipo las variables de salida CTQ clave y en conjunto con las variables KPI evaluar las relaciones X's vs Y's en la matriz causa efecto.

Tabla 6: Tabla QFD.

<div style="text-align: center;"> COMO QUE Requerimientos cliente </div>		IMPORTANCIA	Riego	Temperatura	Fertilizante	Suelo
			1	2	3	4
1	Altura de planta	1	9	3	3	9
2	Cantidad de hojas	4	9	3	3	3
3	Cantidad de ejotes	2	9	3	3	3
4	Grosor de tallo	3	9	3	9	9
EVALUACIÓN CARACT. DE NUESTRO SERVICIO	ABSOLUTA		90	30	48	54
	RELATIVA (%)		41	14	22	24
EVALUACIÓN DE INGENIERIA			2	4	3	1

Relación:
 Muy fuerte (9)
 Fuerte (3)
 Débil (1)

La tabla 5 se ilustran en el eje X la importancia del cultivo y en la Y son las variables requeridos por el cliente con estos variables se desea conocer la relación que hay en ambos, por lo tanto se da una leyenda del cuadro donde el numero 9 significa que hay una relación muy fuerte entre la variable X y Y, el numero 3 es que hay una relación fuerte y el numero 1 es decir que hay una relación débil entre las variables. . El riego es muy importante para la planta ya que necesita del agua

para su desarrollo, la segunda importancia es la temperatura y como se sabe eso influye en la cantidad de hojas para realizar la fotosíntesis, de igual forma tenemos la importancia del fertilizante da un buen desarrollo en el grosor del tallo ya que se le aplica los nutrientes necesarios para su crecimiento. Y por último y el más importante es el suelo ya que es el medio de sostén de la planta y que le da los nutrientes y la solución para el crecimiento y desarrollo del cultivo. El suelo se considera como el número 1 en la evaluación de ingeniería con una frecuencia relativa de 46%.

3.6.3.2 Matriz Causa-Efecto

En la tabla 6 están datos que son la prioridad para el cliente como son la altura de planta, cantidad de hojas, grosor de tallo y pues lo más importante el producto final que sería cantidad de ejote. Y para lograr obtenerlas se tuvo que hacer una correlación entre los pasos del proceso y entradas del proceso variables potenciales X's.

Donde se le da un valor a cada variable, 9 es que hay una relación muy fuerte entre esas dos variables como preparación de terreno y aplicar vermicomposta te da una buena altura de planta. Y 3 es cuando hay una relación fuerte hacia el desarrollo del frijol, 1 es que hay una relación débil entre las variables. Así de esta forma la variable (V) con muy fuerte impacto en la causa en las salidas es la preparación de terreno.

Tabla 7: Matriz causa-efecto.

# DE ORDEN	Variable (V) ó Especial (E)	PRIORIDAD PARA EL CLIENTE		CTQ'S Requerimientos del cliente				TOTAL
		MATRIZ DE INTERACCIÓN CAUSA - EFECTO		1	2	3	4	
		PASOS DEL PROCESO	ENTRADAS DEL PROCESO - VARIABLES POTENCIALES X's	Altura de planta	Cantidad de Hojas	Cantidad de ejotes	Grosor del tallo	
1	V	Preparación del terreno	Fertilizante	9	3	3	9	180
2	E	Preparación del terreno	Tipo de Fertilizante Vermicomposta	9	3	3	9	60
3	E	Preparación del terreno	Tipo de Fertilizante úrea	9	3	3	9	60
4	E	Preparación del terreno	Análisis de suelo	9	3	3	9	60
5	V	Preparación del terreno	Riego	9	3	9	3	54
6	V	Siembra de semillas de frijol	Distancias	9	3	9	3	54
7	V	Mantenimiento de plantas de frijol	Inspeccionar planta	9	3	9	9	174
8	E	Mantenimiento de plantas de frijol	Fumigación	9	3	3	9	60
9	E	Mantenimiento de plantas de frijol	Deshierbe	9	3	3	9	60
10	E	Mantenimiento de plantas de frijol	Riego	9	3	9	3	54
11	V	Mediciones de altura y registros de bitacora	Altura de planta y hallazgos	1	1	1	1	64
12	E	Mediciones de altura y registros de bitacora	POE's de las actividades	3	3	1	3	24
13	E	Mediciones de altura y registros de bitacora	Capacitación	3	3	3	3	30
14	E	Mediciones de altura y registros de bitacora	Altas temperaturas	1	1	1	1	10

Relación:
Muy fuerte (9)
Fuerte (3)
Débil (1)

3.6.3.3 Base de datos

En la tabla 7 se muestran los cm de altura de cada planta por especie y el tipo de fertilizante, se tiene registro del pinto Centauro con una altura máxima de 48 cm y se fertilizo con vermicomposta. Pinto saltillo con altura máxima de 49 cm fertilizado con Urea y pinto Criollo con 56 cm de altura máxima fertilizado con nitrógeno atmosférico.

Tabla 8: Base de datos de altura, especie, y tipo de fertilizante utilizado.

Altura	Especie	Fertilizante	Altura	Especie	Fertilizante
47	Pinto Centauro	Vermicomposta	44	Pinto Saltillo	Urea
38.5	Pinto Centauro	Vermicomposta	45	Pinto Saltillo	Urea
44	Pinto Centauro	Vermicomposta	46.5	Pinto Saltillo	Urea
47	Pinto Centauro	Vermicomposta	49	Pinto Saltillo	Urea
38	Pinto Centauro	Vermicomposta	48	Pinto Saltillo	Urea
37	Pinto Centauro	Vermicomposta	38	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
45	Pinto Centauro	Vermicomposta	34	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
44	Pinto Centauro	Vermicomposta	44.5	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
48	Pinto Centauro	Vermicomposta	51	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
42	Pinto Saltillo	Urea	45	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
33	Pinto Saltillo	Urea	49	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
38	Pinto Saltillo	Urea	51	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
46	Pinto Saltillo	Urea	56	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
			49	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico

3.6.3.5 Estadística Descriptiva

Tabla 9: Altura de planta en (cm) por variedad de frijol

Pinto Saltillo	Pinto criollo	Pinto centauro
42	38	47
33	34	38.5
38	44.5	44
46	51	47
44	45	38
45	49	37
46.5	51	45
49	56	44
48	49	48

En la tabla 9 se muestra los valores mínimos y se destaca el pinto centauro con 37 cm mínimo, en la mediana supera el pinto criollo con 49 cm y la máxima de los diferentes especies de frijol se destaca el pinto criollo con 56 cm de altura y la desviación estándar es de 4.24- 6.87 cm aproximadamente, es decir que hay un poco de variación en la altura de entre cada variedad de frijol.

Tabla 10: Estadística descriptiva.

Descriptive Statistics: Altura											
Variable	Especie	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	
Altura	Pinto Centauro	9	0	43.17	1.41	4.24	37.00	38.25	44.00	47.00	
	Pinto Criollo	9	0	46.39	2.29	6.87	34.00	41.25	49.00	51.00	
	Pinto Saltillo	9	0	43.50	1.71	5.14	33.00	40.00	45.00	47.25	
Variable	Especie	Maximum									
Altura	Pinto Centauro	48.00									
	Pinto Criollo	56.00									
	Pinto Saltillo	49.00									

3.6.3.6 Identificación de la Distribución

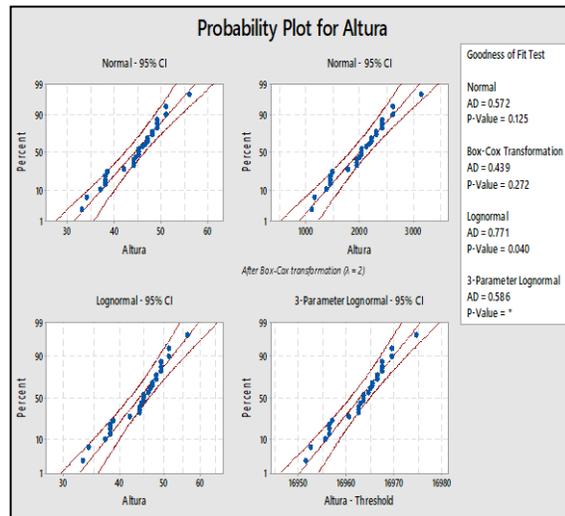
La tabla 10 se obtuvo de la estadística descriptiva con el uso del minitab se corrió los datos de la misma lo cual mostro una distribución normal entre las 4 variedades con probabilidad (P) altos lo que significa que hay una distribución normal.

Tabla 11: Bondad de ajuste

Distribution	AD	P
Normal	0.572	0.125
Box-Cox Transformation	0.439	0.272
Lognormal	0.771	0.040
3-Parameter Lognormal	0.586	* 0.222
Exponential	9.642	<0.003
2-Parameter Exponential	3.486	<0.010 0.000
Weibull	0.392	>0.250
3-Parameter Weibull	0.467	0.182 0.475
Smallest Extreme Value	0.429	>0.250
Largest Extreme Value	1.103	<0.010
Gamma	0.714	0.066
3-Parameter Gamma	2.178	* 1.000
Logistic	0.558	0.100
Loglogistic	0.715	0.036
3-Parameter Loglogistic	0.558	* 0.259

La grafica 7 muestra la distribución que siguen los datos de la altura de cada tipo de variedad de frijol, las 4 variedades dos de ellas su distribución se ajusta, es decir que el métrico primario tiene una desviación normal. Por lo que el valor P son mayores que 0.05, lo que significa es que hay una distribución normal.

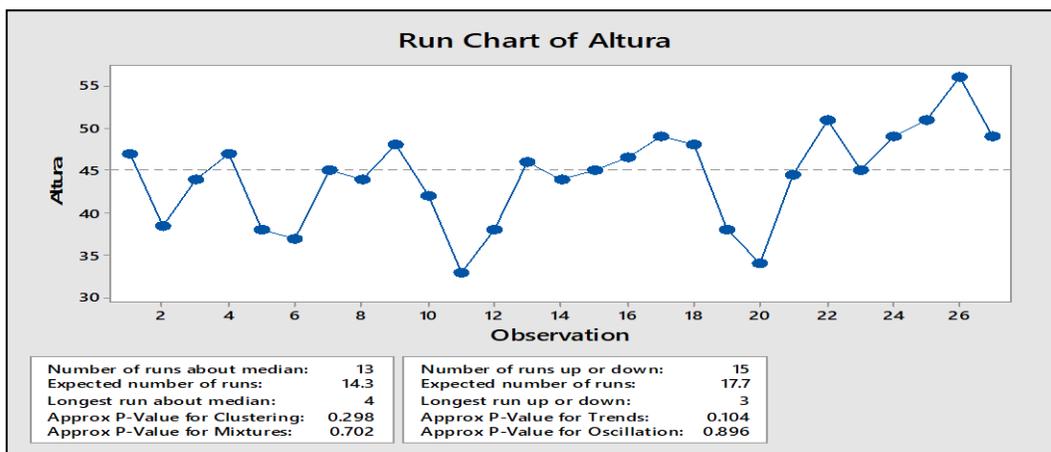
Y las otras dos variedades tienen un valor P menor de 0.05, es decir, no tiene distribución normal.



Gráfica 7: Muestra la relación de la planta con la

3.6.3.7 Análisis de variables de proceso

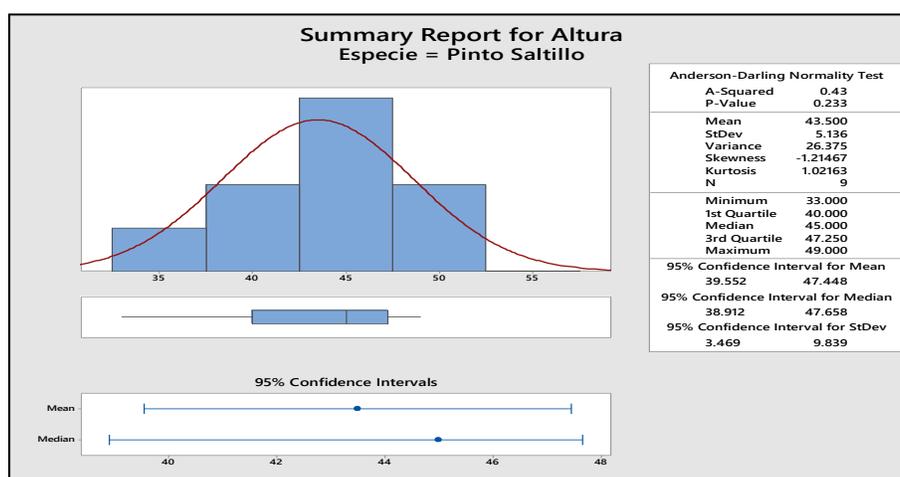
La gráfica 8 ilustra dos variables; en la X está la observación y en Y están la alturas de las tres variedades de frijol, y los datos obtenidos de las tres variedades se encuentran en su mayoría superiores a los 40 cm de altura.



Gráfica 8: Gráfico de la altura de planta con sus observaciones.

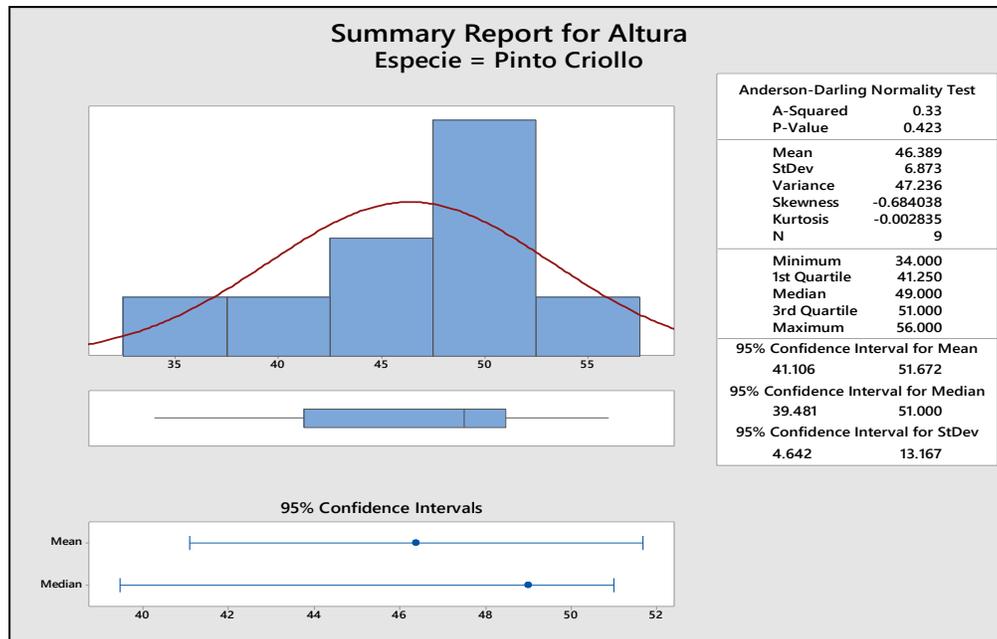
3.6.3.8 Resumen grafico

La grafica 9 ilustra los datos del Pinto Saltillo, la media altura es de 43.50 cm con una desviación estándar de 5.13. El histograma muestra una amplia dispersión ya que la mayoría se encuentra lejos del objeto a 40 cm con un rango de dispersión de 33 a 49 cm. El intervalo de confianza 95% muestra un rango probable de altura media de 39.552 a 47.448 cm y una mediana de 38.91 a 47.65.



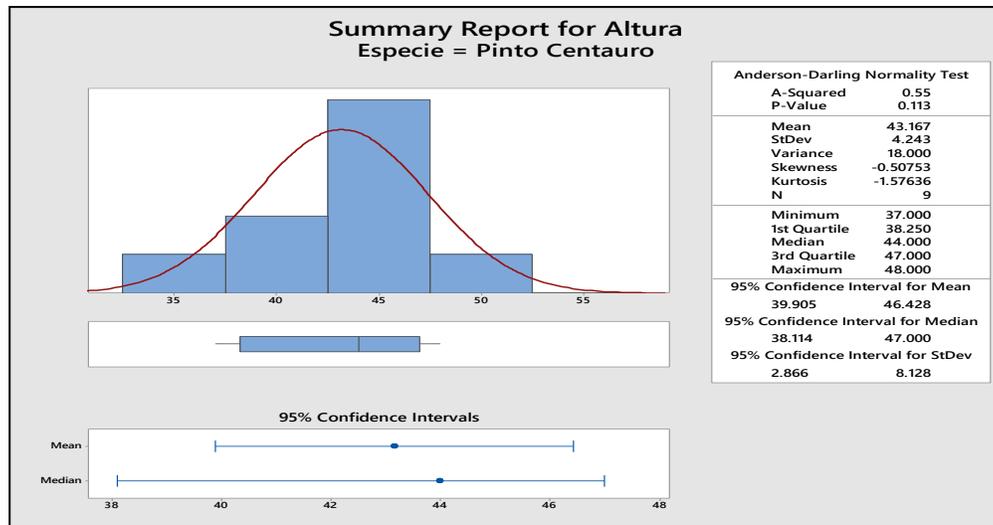
Gráfica 9: Informe resumido de la altura del frijol variedad pinto Saltillo.

La grafica 10 ilustra los datos del Pinto Criollo, la media altura es de 46.38 cm con una desviación estándar de 6.87, el histograma muestra una amplia dispersión ya que la mayoría se encuentra lejos del objetivo a 40 cm con un rango de dispersión de 34 a 56 cm. El intervalo de confianza 95% muestra un rango probable de altura media de 41.106 a 51.672 y una desviación estándar de 4.642 a 13.167 cm y una mediana de 39.48 a 51.00.



Gráfica 10: Informe resumido de la altura de frijol variedad Pinto Criollo.

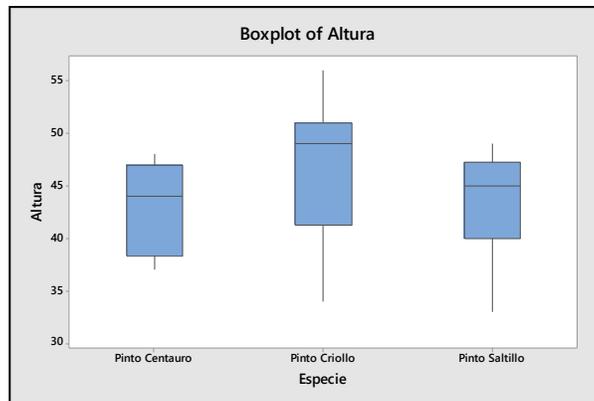
La grafica 11 ilustra los datos del Pinto Centauro, la media altura es de 43.167 cm con una desviación estándar de 4.243, el histograma muestra una dispersión mínima ya que la mayoría se encuentra cerca del objeto a 40 cm de altura con un rango de dispersión de 37 a 48 cm. El intervalo de confianza 95% muestra un rango probable de altura media de 39.905 a 46.428 cm y una desviación estándar de 4.642 a 13.167 cm y una mediana de 39.48 a 51.00.



Gráfica 11: Informe resumido de la altura de frijol variedad Pinto Centauro.

3.6.3.9 Diagrama de cajas

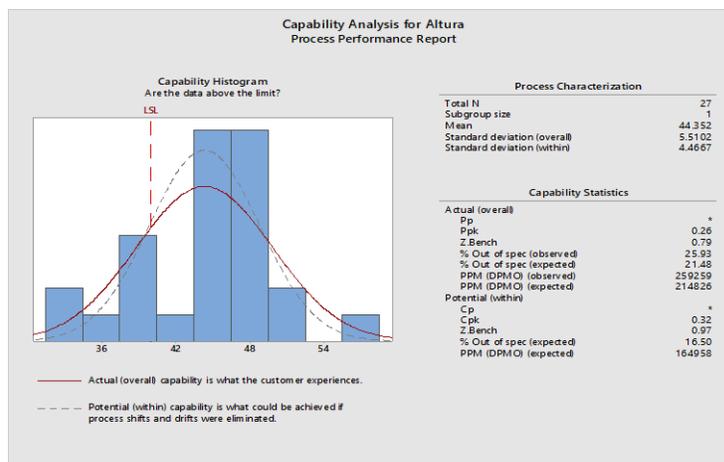
En la gráfica 12 se muestra las alturas de cada especie de frijol, se puede observar la altura de pinto centauro con una variabilidad de 30 cm a 47 cm, es decir, que hay muy poca variabilidad en las alturas. Pinto criollo la cual se considera con el mayor número de altura con una variabilidad de 41 cm a 51 cm, es decir, con mayor variabilidad en altura. Pinto saltillo que se fertilizo con urea tiene casi la misma altura que pinto centauro pero con mayor variabilidad que es de 34 a 56 cm, pero con la mayoría de las alturas menor de 40 cm.



Gráfica 12: Muestra la relación que hay entre las tres especies con la altura.

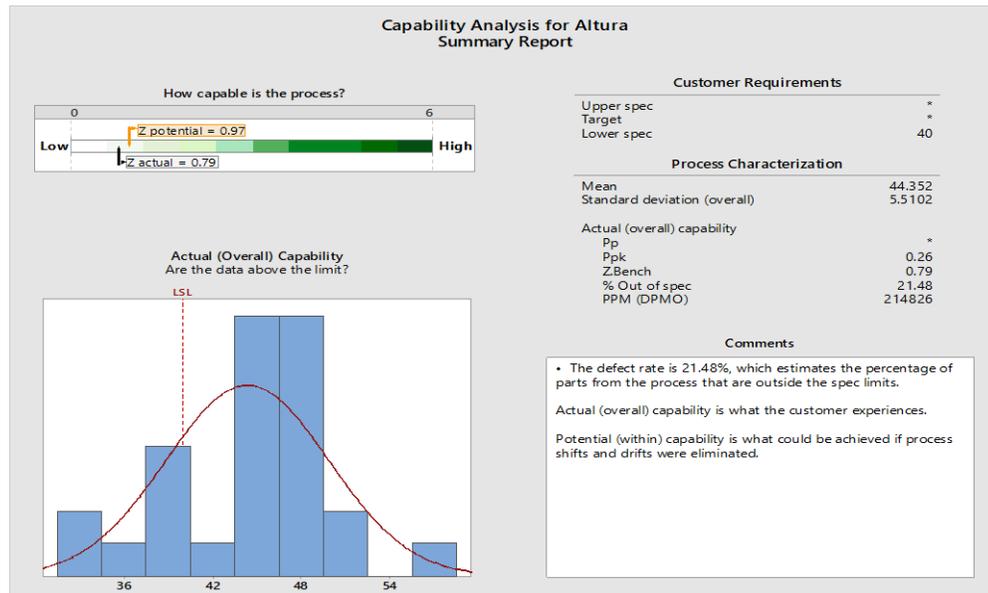
3.6.3.10 Análisis de Capacidad

En relación a la gráfica 13 donde esta aparejado el histograma de frecuencia y la campana de Gauss (grafica de la distribución normal) se puede observar que si hay un ajuste y la normalidad de datos; esto quiere decir se está aplicando correctamente la ESTADISTICA PARAMETRICA que tiene cabida en el análisis de datos cuantitativos.



Gráfica 13: Histograma, muestra el análisis de capacidad para altura.

En la gráfica 14 se puede observar y analizar la altura. El análisis de capacidad indica que la tasa de incumplimiento es del 26% lo que dio como un ppk 0.26 a largo plazo y un CPk de 0.32.



Gráfica 14: Resumen de la capacidad de altura

Evaluación del sistema de medición a través de un análisis Gage R&R.

Se evaluará el grado de variación del proceso y cada uno de sus componentes y definirá un plan de acción para normalizar el sistema de medición en caso de que así se requiera.

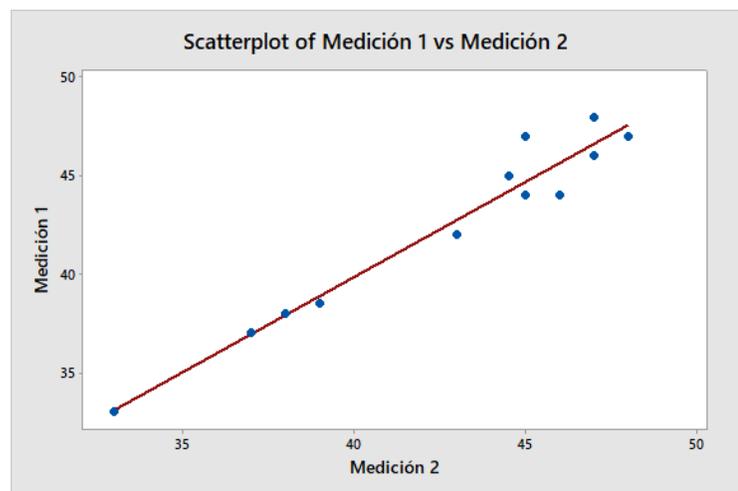
a) Revisará la integridad, captura y tipo de datos, así como la nueva elaboración de la base de datos.

b) Elaborará un plan de acción para corregir la variabilidad del sistema de medición a fin de garantizar una certeza de detección de desviaciones del proceso a corto y largo plazo.

La tabla 12 muestra los datos de la medición 1 dicha medición se realizó el 1 de julio y medición 2 fue la medición del 25 de julio de la altura de planta para poder realizar una gráfica y saber si hay una buena correlación. Como se muestra en la gráfica 15, las dos mediciones tienen una correlación positiva, es decir que ambos tuvieron el mismo crecimiento.

Tabla 12: Análisis de correlación entre medición 1 vs medición 2.

47	45
38.5	46.5
44	49
47	48
38	38
37	34
45	44.5
44	51
48	45
42	49
33	51
38	56
46	49



Gráfica 15: Correlación entre la primera y segunda medición de la altura de planta.

Índice de discriminación por análisis de valores propios: raíz (44.61/0.533)

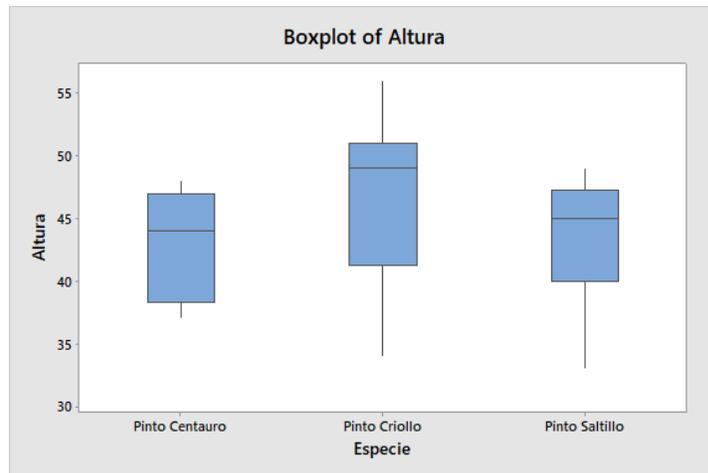
Índice de discriminación mayor a 9.16 entonces la evaluación o medición es aceptable.

Análisis de correlación.

Realización de un análisis correlación y/o ANOVA con la finalidad de evaluar el grado de relación entre las variables del proceso y cuales están ligadas con las variables de salida o requerimientos del cliente.

- a) Realizar el análisis de las variables a fin de identificar un modelo que replique o represente lo que pasa en el modelo actual.

La grafica 16 representa la altura de cada variedad de frijol, de esta forma Pinto Centauro se observa con una menor variabilidad menor, a comparación con Pinto Criollo tiene una alta variabilidad pero con una altura que supera a los otros dos variedades, Pinto Saltillo se puede observar que tiene una mayor variabilidad pero con una altura menor de las otras dos variables, es decir, es la variedad con menor altura y con una variabilidad mayor.



Gráfica 16: Diagrama de caja, muestra la relación de la altura de cada especie.

Análisis Y = Altura de la planta X= especie

Tabla 13: Cuadro de análisis de varianza

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Especie	2	56.52	28.26	0.93	0.41
Error	24	732.89	30.54		
Total	26	789.41			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
5.52603	7.16%	0.00%	0.00%		

En la tabla 13 es el análisis de varianza donde la relación entre la altura de planta y las variedades (especie) la F-Value (0.93) > P-Value (0.41) lo que significa que no hay diferencia estadística entre las variedades de frijol.

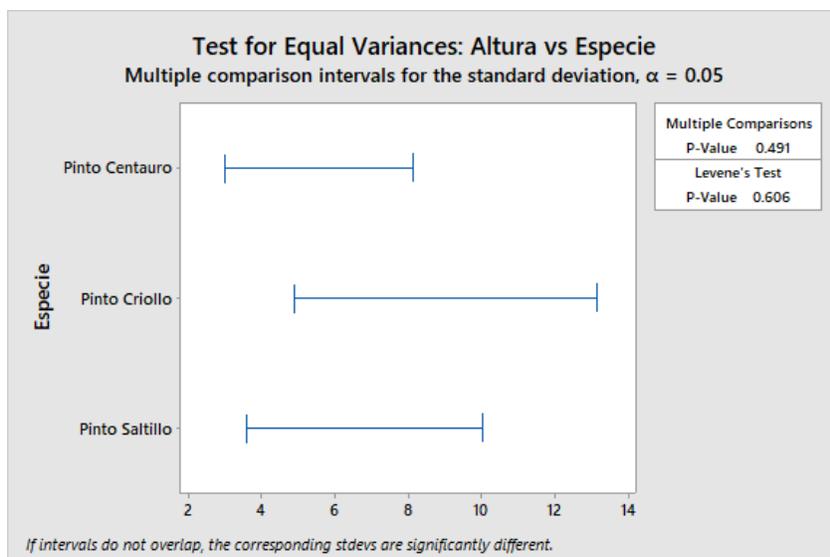
27. Tukey Pairwise Comparisons

En la siguiente tabla 14 se hace una comparación Tukey de las tres especies con 9 datos de altura por variedad, en todos los grupos tienen la misma media y por lo tanto se dice que ambos tienen una misma variabilidad ya que los tres son similares porque en los agrupamientos todos están marcados con la letra A.

Tabla 14: Muestra la comparación Tukey

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Especie	N	Mean	Grouping
Pinto Criollo	9	46.39	A
Pinto Saltillo	9	43.5	A
Pinto Centauro	9	43.17	A

La grafica 21 muestra en resumen que ambos valores P son mayores que el nivel de significancia común que es de 0.05. En el gráfico las tres especies con los múltiples intervalos de comparación, los intervalos de comparación se superponen. De esta manera los valores p y los intervalos de comparación significa que las diferencias entre las alturas no son estadísticamente significativas.

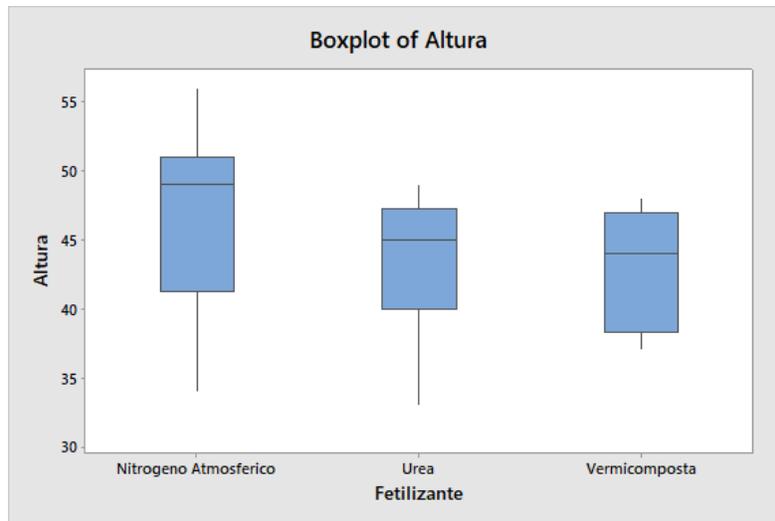


Gráfica 17: Prueba para varianzas iguales entre la altura y la especie del frijol.

Se cumplen los supuestos del ANOVA.

Análisis Y = Altura de planta X= Fertilizante

La grafica 19 muestra la altura de cada especie dependiendo del tipo de fertilizante aplicado y se observa con mucha exactitud que el nitrógeno atmosférico se destaca por obtener la altura superior a 55 cm y con una amplia variabilidad de 34 cm a 55 cm, a comparación con urea tuvo poco crecimiento y con una variabilidad un poco amplia, el fertilizante vermicomposta se puede decir que es la que tuvo una distribución normal ya que tiene una variabilidad normal en las alturas de 36 cm a 48 cm.



Gráfica 18: Diagrama de caja, relación de fertilizante y la altura de cada especie.

Tabla 15: Muestra el análisis de varianza

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Fertilizante	2	56.52	28.26	0.93	0.41
Error	24	732.89	30.54		
Total	26	789.41			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
5.52603	7.16%	0.00%	0.00%		

La tabla 15 el análisis de varianza muestra la relación entre el fertilizante y la altura de la planta de frijol donde no existe significancia, porque Pvalue > 0.05.

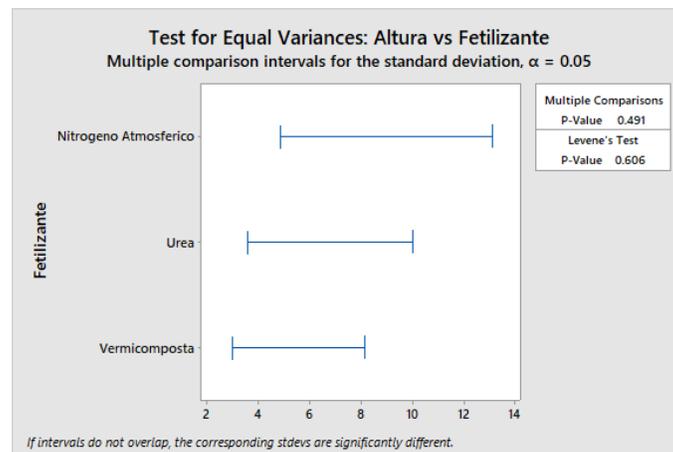
28. Tukey Pairwise Comparisons

En la tabla 16 se muestra los tres tipos de fertilizantes y se define que los tres tipos tienen la misma media, es decir que no hay diferencia entre las alturas con respecto a los fertilizantes utilizados.

Tabla 16: Prueba Tukey

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Fertilizante	N	Mean	Grouping
Nitrógeno atmosférico	9	46.39	A
Urea	9	43.5	A
Vermicomposta	9	43.17	A

La grafica 24 muestra en resumen ambos valores P son mayores que el nivel de significancia común que es de 0.05. En el gráfico las tres tipos de fertilizante con los múltiples intervalos de comparación, los intervalos de comparación se superponen. De esta manera los valores p y los intervalos de comparación significa que las diferencias entre las alturas no son estadísticamente significativas.

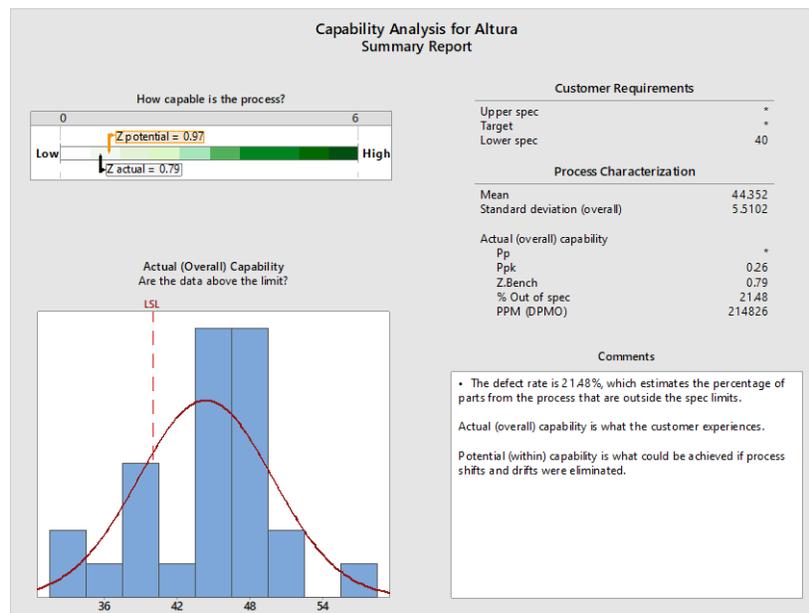


Gráfica 19: Muestra la variabilidad: Altura VS Fertilizante

Se cumplen los supuestos del ANOVA.

b) Establecer el desempeño para las Y's óptimas. (Cp, Cpk, Ppk, variación a corto y largo plazo) a fin de determinar el estado futuro del sistema y su nivel de capacidad.

En la gráfica 25 se puede observar y analizar la altura. El análisis de capacidad indica que la tasa de incumplimiento es del 26% lo que dio como un ppk 0.26 a largo plazo y un CPk de 0.32. Ninguna variable es significativa, la mejora se dará por diseño de experimentos o eliminación de fallas en el proceso de cultivo de plantas.



Gráfica 20: Análisis para altura

3.6.4 Etapa 4: mejorar

3.6.4.1 AMEF

La tabla 17 se muestra las operaciones que se realizaron desde la preparación de terreno y siembra, las fallas potenciales como se muestra en las columnas fueron las posibles fallas que pudo ocurrir como uno de las principales es la ineficiencia en el desarrollo de la actividad, eso lleva a tener un efecto es que surge una deficiencia en crecimiento y producción, con la severidad significa que tan grande es el efecto en el cliente y se mide en escalas de 1 a 10 y 10 representa una mayor severidad y 1 sería lo contrario, poco severo efecto al cliente.

Tabla 17: AMEF

Operación	Función	Falla Potencial	Efecto	SEV	Causa Potencial	OCC	Controles Actuales	DECT	RPN	Acciones y Recomendaciones	Responsables	Acciones Tomadas	SEV	OCC	DECT	RPN
Preparación del terreno	Colocar fertilizante	Ineficiencia en el desarrollo de la actividad	Deficiencia en crecimiento y producción	10	Falta de responsabilidad del operador	4	Supervisión de dueño del proceso	1	40							
Preparación del terreno	Crear los canales de riego a las plantas	Deficiencia en la hidratación	Muerte de la planta	10	Falta de responsabilidad del operador	4	Supervisión de dueño del proceso	1	40							
Siembra de semillas de frijol	Colocar a la distancia respectiva para evitar que choquen las raíces	Distancias	Deficiencia en crecimiento	10	Falta de responsabilidad del operador	4	Supervisión de dueño del proceso	1	40							
Mantenimiento de plantas de frijol	Realizar deshierbe y fumigación	Inspeccionar planta	Muerte de la planta	10	Natural	6	Supervisión de dueño del proceso	1	60	Realizar una segunda verificación de la actividad	Leonardo Rocha					
Mediciones de altura y registros de bitacora	Llevar un control del seguimiento y de las	Altura de planta y hallazgos	Deficiencia en el control y seguimiento del proceso	10	Control Personal	8	Supervisión de dueño del proceso	1	80	Verificar al finalizar la actividad el cumplimiento de la toma de datos	Leonardo Rocha					

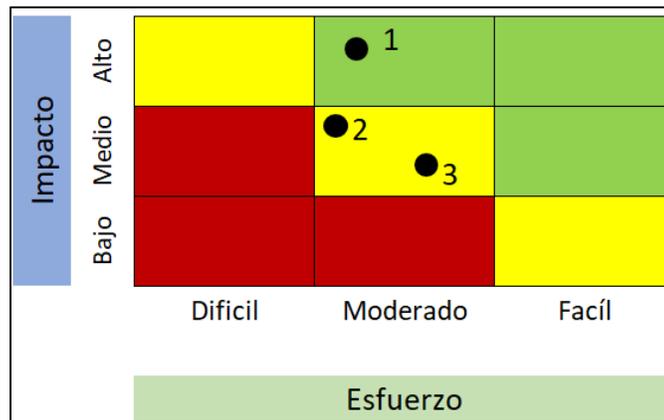
SEV: severidad, **OCC:** ocurrencia, **DECT:** detección, **RPN:** Índice prioritario del riesgo

3.6.4.2 Generación de Posibles Soluciones

A continuación, se enlista una lluvia de ideas con posibles soluciones para la reducción de la presencia de la rebaba en la pieza:

1. Mejorar el diseño de los surcos (canales de riego).
2. Mejorar la colocación del fertilizante en el terreno.
3. Verificar la correcta distancia entre cada una de las plantas.

En la gráfica 23, En base a la lluvia de ideas se muestra enseguida la matriz de Impacto-Esfuerzo, donde han sido clasificadas en base al nivel de impacto: bajo, medio y alto vs el nivel de esfuerzo: fácil, moderado y difícil.



Gráfica 21: Esfuerzo impacto, muestra la relación entre ambas variables.

3.6.4.3 Generación de posibles soluciones.

a) Matriz Pugh

La tabla 18 muestra los criterios que se consideran importantes en la producción y calidad del frijol, y para cada diseño se tiene que hacer una valoración lo cual se mide mediante (+) cuando es superior al diseño actual, un signo (-) cuando es inferior al actual y si el diseño es igual al actual se marca con (0). En la suma total se muestra que los tres diseños se deben de implementar y mejorar:

- Mejorar el proceso de la preparación de terreno al colocar el fertilizante.
- Verificar que los canales de riego tengan una pendiente para poder circular el agua correctamente evitando encharcamiento.
- Realizar una correcta distancia entre planta durante la siembra.

Tabla 18: Matriz Pugh.

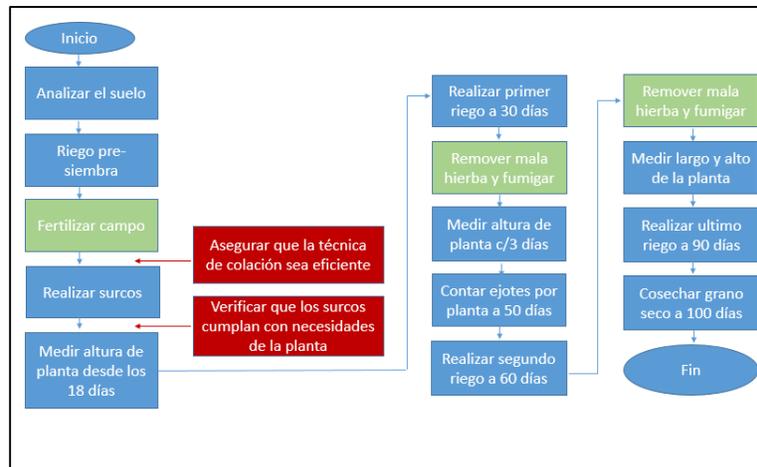
Criterio	Mejorar la preparación de terreno antes de colocar el fertilizante	Mejorar los canales de riego	Asegurar que la distancia entre planta sea la adecuada
Viabilidad Técnica	+	+	+
Tiempo de Implementación	+	+	+
Costo de Desarrollo	-	-	-
Beneficio de la empresa	-	-	-
Grado de Innovación	+	+	-
Facilidad Operativa	+	+	+
Total +	4	4	3
Total -	2	2	3
Total	2	2	0

Criterio	Mejorar la preparación de terreno antes de colocar el fertilizante			Mejorar los canales de riego	
	Peso	Calificación	Score	Calificación	Score
Viabilidad Técnica	0.15	5	0.75	5	0.75
Tiempo de Implementación	0.15	5	0.75	5	0.75
Costo de Desarrollo	0.25	1	0.25	1	0.25
Beneficio de la empresa	0.25	1	0.25	1	0.25
Grado de Innovación	0.05	4	0.2	4	0.2
Facilidad Operativa	0.15	4	0.6	4	0.6
Score			2.8	2.8	
Rank			1	2	
Continuará			SI	SI	

3.6.4.4 Revisar el mapa de proceso actual y redefinir el ideal.

La grafica 24 se muestra ya marcada la causa de la mortandad del cultivo y se describe lo que se recomienda realizar al hacer la fertilización y al realizar los surcos.

La grafica recibirá 2 operaciones adicionales de inspección y aseguramiento después de dos operaciones fundamentales para el proceso que garantizará la reducción de mortalidad en las plantas de frijol la cual podremos monitorear en la recolección de datos realizada cada 3 días.



Gráfica 22: Diagrama de flujo actual, donde se corrigió las posibles causas de la muerte de la planta.

3.6.5 Etapa 5: controlar

3.6.5.1 Desarrollar el plan de control del proceso, donde se incluya diferentes gráficas de control.

La tabla 19 es un plan de control de proceso como donde se controla ya los posibles causas del problema de la disminución de la altura del frijol, por ejemplo el diseño de surco en esa se controla la cantidad de agua que se le da a cada planta para evitar un encharcamiento, para evitar esto se dejó 50 cm entre surco y 2 semanas antes del riego se verifico que no haya un efecto que genere un encharcamiento ya que esto evitara marchitez y muerte de plantas.

Tabla 19: Plan de control de procesos.

Fecha: 05/08/2019		Revisión: 1								
Producto: Planta de frijol: criollo, centauro y saltillo										
Proceso: Altura de planta de frijol										
Paso del Proceso	¿Qué se controla?	¿Entrada o Salida?	Límites de Espec/ Requerimientos	Método de Medición	Tamaño de muestra	Frecuencia	Quién /Qué mide	Dónde se registra	Regla de Decisión/ Acción correctiva	SOP's
Diseño de surcos	La cantidad de agua que llega a las plantas	E	canales de 50 cm de diametro		N/A	4	Leonardo Rocha	Formato	Verificar 2 semanas antes de cada riego programado	Formato de Registros
Colocación del fertilizante	El desarrollo que genera la planta	E	N/A	supervisión	N/A	1	Leonardo Rocha	Formato	Verificar que el barrido al momento de hacer la colocación abarque todo el terreno	Formato de Registros
Colocación de planta	Crecimiento de la planta	E	30cm	cita metrica	N/A	1	Leonardo Rocha	Formato	Verificar que la distancia sea correcta, así como su profundidad	Formato de Registros
							Aprobado por	Rafael Avila Cisneros		
							Elaborado por	Leonardo Rocha		

3.6.5.2 Definir el plan para mantener las ganancias.

Tabla 20: Plan para mantener ganancias.

Plan para mantener las ganancias					
Estrategía	Acción	Responsable	Fecha Inicial	Frecuencia o veces de ejecución	Fecha Final
Documentación	Generar manual POE	Leonardo Rocha	Agosto-19	1 vez	ago-20
Seguimiento de ajustes	Revisión de la parte operativa	Leonardo Rocha	Agosto-19	2 veces al año	ago-20
Reporte final	Documentar los resultados	Leonardo Rocha	Agosto-19	1 vez	ago-20
Cierre de proyecto	Archivar y resguardar para la siguiente siembra	Leonardo Rocha	Agosto-19	2 vez	ago-20

Identificación de variables críticas del proceso y a evaluación.

De acuerdo al análisis de ANOVA se deberán descartar todas aquellas variables que no intervienen dentro del proceso y solamente se identificarán aquellas que presenten una relación con las variables de salida y los

requerimientos del cliente. A partir este análisis se definirá un plan de acción de mejora para estas variables.

3.6.5.3 Evaluación de soluciones

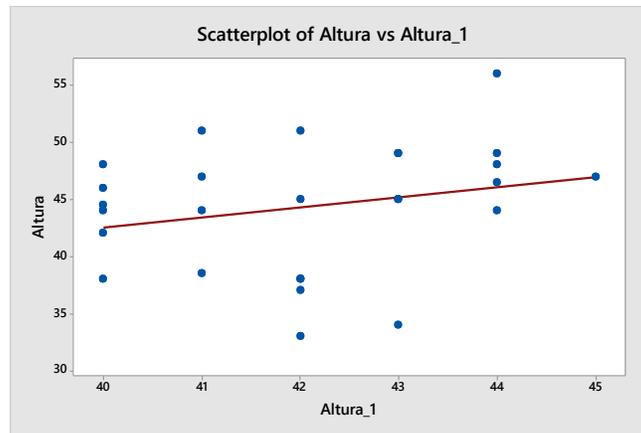
- a) En base a la definición del modelo $Y=X_1+X_2+X_3...X_n$ y al mapa de proceso ideal, estimar la configuración óptima de Y en base a los nuevos rangos de X_1, \dots, X_n (simulación).

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	42.111	0.523	80.50	0.000	
Fertilizante					
Urea	-0.444	0.740	-0.60	0.554	1.33
Vermicomposta	0.333	0.740	0.45	0.656	1.33

Regression Equation

$$\text{Altura}_1 = 42.111 + 0.0 \text{ Fertilizante_Nitrogeno Atmosférico} - 0.444 \text{ Fertilizante_Urea} + 0.333 \text{ Fertilizante_Vermicomposta}$$



Gráfica 23: Dispersión de altura VS Altura_1 de la planta.

Se realizaron pruebas en campo dando seguimiento a las alturas de las plantas de frijol los resultados de dicho análisis al punto del último registro de medición, los resultados de dicho análisis se muestran a continuación. (Fechas de las pruebas del 1 al 25 de Julio de 2020 la cual representa la etapa de madurez de la planta antes de finalizar el proceso).

Tabla 21: Base de datos donde se muestra la fecha, altura, especie y con qué fertilización se aplicó en la planta de frijol.

Fecha	Altura	Fecha	Altura	Especie	Fertilizante
01-jul	47	25-jul	41	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	38.5	25-jul	41	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	44	25-jul	40	Pinto Centauro	Vermicomposta

01-jul	47	25-jul	45	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	38	25-jul	42	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	37	25-jul	42	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	45	25-jul	43	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	44	25-jul	44	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	48	25-jul	44	Pinto Centauro	Vermicomposta
01-jul	42	25-jul	40	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	33	25-jul	42	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	38	25-jul	42	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	46	25-jul	40	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	44	25-jul	41	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	45	25-jul	43	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	46.5	25-jul	44	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	49	25-jul	43	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	48	25-jul	40	Pinto Saltillo	Urea
01-jul	38	25-jul	40	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	34	25-jul	43	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	44.5	25-jul	40	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	51	25-jul	42	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	45	25-jul	42	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico

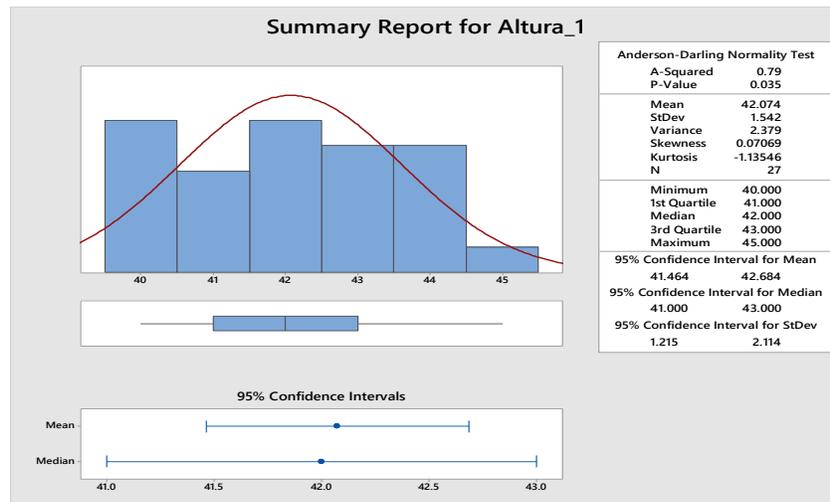
01-jul	49	25-jul	43	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	51	25-jul	41	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	56	25-jul	44	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico
01-jul	49	25-jul	44	Pinto Criollo	Nitrógeno Atmosférico

En la tabla 21 se observa que se cumplió con el objetivo que era superar la altura promedio de cualquiera de las 3 plantas de frijol con los diversos fertilizantes, tomando como mejor referencia el fertilizante natural de vermicomposta como más eficiente durante el proceso.

La grafica 29 Como análisis del ultimo muestreo se realizó este análisis gráfico, se observó que efectivamente se redujo la media de cada una de las plantas debido a su proceso natural logrando aun así superar la media promedio que es de 40 cm.

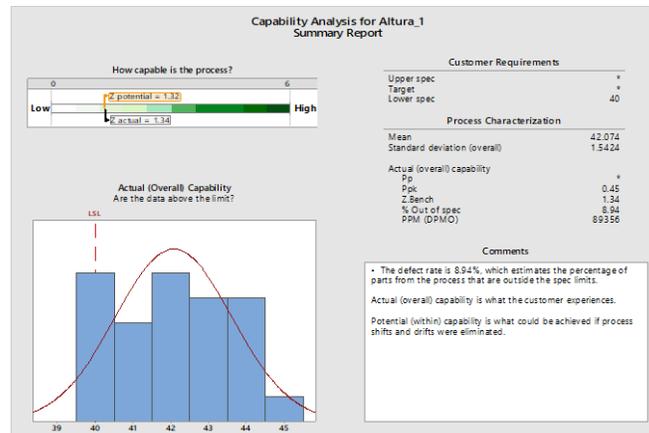
a) Documentar la validación de la condición óptima (Y's) basado en los requerimientos del cliente definidos en el QFD.

Si logramos operar el proceso bajo este esquema esperamos subir la capacidad de proceso y nivel de desempeño a:



Gráfica 24: Resumen para la altura_1.

En relación a la gráfica 30 ya esta aparejado el histograma de frecuencia y la campana de Gauss (grafica de la distribución normal) se puede observar que si hay un ajuste y la normalidad de datos y la altura de la planta de frijol ya tiene una variabilidad menor de 40 a 45 cm de altura; esto quiere decir se está aplicando correctamente la ESTADISTICA PARAMETRICA que tiene cabida en el análisis de datos cuantitativos. Se pudo observar la capacidad del proceso que aumentaría el ppk 0.45 contrastando contra anterior que era de 0.26. Lo cual incrementaría un nivel sigma de 0.79 a 1.32.



Gráfica 25: Análisis para la altura_1.

3.6.5.4 Diseñar plan de implementación.

- a) Realizar plan de implementación de los cambios, clarificar si se implementará un plan piloto.

La tabla 22 muestra el implemento de un análisis de identificación de posibles amenazas para comprobar si el plan de acción efectivamente ayudó a disminuir la probabilidad de amenazas en un 70%, lo cual generó una mejora en todas las plantas de frijol en el experimento superando la media de 40 cm.

Tabla 22: Plan de implementación.

4M	Oportunidad	Acción	Responsable	Fecha	Status	Problema a corregir	% de problema	Corrección/Preventivo
Personal	Capacitación	Verificar que las actividades se puedan llevar a cabo al momento de transportarlo a área mayor	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Pendiente	Falta de disciplina	40	Preventivo
Maquina	-							
Metodo	Riego	Asegurar que los surcos esten realizados correctamente	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Pendiente	Incumplimiento con especificaciones	30	Preventivo
Metodo	Deshierbe	Verificar el cumplimiento correcto de la actividad según el	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Hecho	Incumplimiento con especificaciones		
Metodo	Fumigación	Verificar el cumplimiento correcto de la actividad según el	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Hecho	Incumplimiento con especificaciones		
Metodo	POE	Estandarizar los procesos de las actividades que se pueden mejorar o actualizar	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Hecho			
Medio Ambiente	Altas Temperaturas	-						
Medición	Calibración de Herramientas	Verificar el cumplimiento según especificaciones	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Hecho			
Medición	Análisis de Suelo	Verificar el cumplimiento según especificaciones	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Hecho			
Material	Variedad de Fertilizantes	Técnica de colocación	Leonardo Rocha	Proxima Siembra	Pendiente		30	Preventivo

En la tabla 23 ya es un AMEF modificado donde ya se describe las principales soluciones del problema, por ejemplo la falla potencial que podría provocar una ineficiencia en el desarrollo ahora en esta tabla se implementa acciones y recomendaciones como es verificar correctamente que la técnica empleada sea correcta y también hay acciones tomadas de igual forma es verificar que en la próxima siembra cumplan con las especificaciones. Por último se observa el Índice Prioritario de Riesgo (RPN) en la columna color rojo se tiene un valor de 180 con un alto riesgo y al hacer la revisión y modificación el RPN disminuye a 120, es decir, que hay menor riesgo de mortandad de las plantas de frijol.

Tabla 23: Elaborar, revisar y modificar si es necesario los AMEF's.

Operación	Función	Falla Potencial	Efecto	SEV	Causa Potencial	OCC	Controles Actuales	DECT	RPN	Acciones y Recomendaciones	Responsables	Acciones Tomadas	SEV	OCC	DECT	RPN
Preparación del terreno	Colocar fertilizante	Ineficiencia en el desarrollo de la actividad	Deficiencia en crecimiento y producción	10	Falta de responsabilidad del operador	6	Supervisión de dueño del proceso	3	180	Verificar correctamente que la técnica empleada sea correcta	Leonardo Rocha	Verificar que en la proxima siembra cumpla con las especificaciones	10	4	3	120
Preparación del terreno	Crear los canales de riego a las plantas	Deficiencia en la hidratación	Muerte de la planta	10	Falta de responsabilidad del operador	6	Supervisión de dueño del proceso	3	180	Verificar la correcta elaboracion antes de comenzar el proceso	Leonardo Rocha	Verificar que en la proxima siembra cumpla con las especificaciones	10	4	3	120
Siembra de semillas de frijol	Colocar a la distancia respectiva para evitar que choquen las raíces	Distancias	Deficiencia en crecimiento	10	Falta de responsabilidad del operador	6	Supervisión de dueño del proceso	3	180	Verificar la colocación antes de comenzar el proceso	Leonardo Rocha	Verificar que en la proxima siembra cumpla con las especificaciones	10	4	3	120
Mantenimiento de plantas de frijol	Realizar deshierbe y fumigación	Inspeccionar planta	Muerte de la planta	10	Natural	4	Supervisión de dueño del	1	40							
Mediciones de altura y registros de bitacora	Llevar un control del seguimiento y de las	Altura de planta y hallazgos	Deficiencia en el control y seguimiento del proceso	10	Control Personal	4	Supervisión de dueño del proceso	1	40							

b) Realizar la validación económica y el alcance del proyecto.

El cliente solicitaba una mejora del 30% en la altura máxima de las plantas de frijol, así como la reducción en un 30% de la mortalidad en las mismas desarrollándose de Mayo a Agosto 2020. Una reducción de la mortalidad e incremento en la altura generaría una estandarización en el proceso buscando generar poca variación en las plantas siendo un proyecto exitoso.

IV DISCUSION

En relación al proyecto de investigación presentado sobre el cultivo del frijol durante primavera-verano de 2020; las tres variedades Pinto Saltillo, Pinto Centauro y Pinto Criollo se comportaron diferentes por las diferentes fechas de siembra que se realizó por variedad, y eso dio o permitió que en Pinto Saltillo tuviera una variabilidad muy alta en la altura de planta obteniendo como máximo un 48 cm, mientras que Pinto Criollo obtuvo una altura máxima de 56 cm y mínima de 35 cm. No se obtuvo granos del frijol ya que se presentó una infestación de hongo (tizón sureño) en pleno desarrollo del cultivo y por su puesto afecto al momento de la etapa de floración de frijol lo cual eso conllevó a no obtener producción de grano seco.

V CONCLUSIÓN

Las tres variedades de frijol durante su crecimiento se pudo observar que para poder obtener la calidad de producción se recomienda generar controles que permitan continuar mejorando el proceso a través de las bases como son la preparación del terreno y elaboración de canales de riego más productivos, así como también llevar a tiempo la aplicación de fertilizantes e insecticidas de forma correcta y las demás actividades agrícolas.

El nivel Six sigma se detectó que ninguna variable X es significativa, eso significa que está en función mejorar el proceso para el desarrollo de la plantas de frijol utilizando la 3 tipos de fertilizantes (No en la optimización de las variables sistemáticas). Con la hipótesis del proyecto que es la mejora de la producción se detectaron las posibles causas que afecta la producción del cultivo de frijol y los cuales se recomienda mejorarlas.

VI BIBLIOGRAFÍA

- Albert, E. N., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma.
- Albert, E. N., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma.
- ALVAREZ C. G. (2019). CULTIVO DEL FRIJOL. 2021, de centa.gob Sitio web: http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf
- Anaya A. J & Burgos R. C. (2018). Aplicación de seis sigmas integradas con AMEF y QFD en el proceso de fabricación y distribución de muebles. 2020, de researchgateSitioweb:https://www.researchgate.net/publication/332941611_Aplicacion_de_seis_sigmas_integradas_con_AMEF_y_QFD_en_el_proceso_de_fabricacion_y_distribucion_de_muebles
- Anticona Flores, A. N., & Lara Márquez, J. M. (2018). Six sigma en la calidad del servicio de mantenimiento de camiones iveco, empresa Motored SA.
- Araya, C. M., Bonilla, S. P., Becerra, E. N., & Lara, J. A. Fascículo 2: importancia, síntomas y manejo de las principales enfermedades del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Armando, Q. R. (1983). Estudio de genotipos criollos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo el sistema de producción de cosechas de secano en planicies.
- Avendaño, C. H., Ramírez, P., Castillo, F., Chávez, J. L., & Rincón, G. (2004). Diversidad isoenzimática en poblaciones nativas de frijol negro. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), 31-40.
- Borja-Bravo, M., Osuna-Ceja, E. S., Arellano-Arciniega, S., García-Hernández, R. V., & Martínez-Gamiño, M. Á. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de frijol en condiciones de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4), 443-450.

- Celis, O. L. M., & García, J. M. S. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. *Estudios gerenciales*, 28(124), 23-43. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (Febrero 2020). Mercado del frijol, situación y prospectiva. 2021, de PALACIO LEGISLATIVO DE SAN LÁZARO CIUDAD DE MEXICO Sitio web: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/53Mercado%20del%20frijol.pdf>
- Chávez-Simental, J. A., & Álvarez-Reyna, V. D. P. (2012). Ecofisiología de seis variedades de frijol bajo las condiciones climáticas de la Región Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 299-309.
- Chiaburu, G. (2014). Lean Six Sigma en las administraciones públicas.
- Debouck, D. G., & Hidalgo, R. (1985). Morfología de la planta de frijol común. Programa de las Naciones Unidas (PNUD).
- Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2016). Panorama Agroalimentario. 2021, de FIDEICOMISOS INSTITUIDOS EN RELACION CON LA AGRICULTURA (FIRA Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200638/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf
- Espinoza-García, N., Martínez-Martínez, R., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C., Heredia-García, E., & Velasco-Velasco, V. A. (2016). Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 215-223.
- Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277.
- Fernández P. F. Gepts Marceliano López. (2004). ETAPAS DE DESARROLLO EN LA PLANTA DE FRIJOL. 2021, de core. ac. uk Sitio web: <https://core.ac.uk/download/pdf/132691059.pdf>
- Flores, M. L. (2015). El cultivo del frijol en México.

- Garay, A. V. A., Rindermann, R. E. S., & Vargas, G. A. (2008). La competitividad del frijol en México. *El cotidiano*, (147), 81-89.
- García, M. (2020, 29 mayo). *Principales herramientas del lean Six Sigma ¿cómo aplicarlas?* APD España. <https://www.apd.es/herramientas-del-lean-six-sigma/>
- Gómez A. (2013). Asesor de calidad. 2021, de Blogspot Sitio web: <http://asesordecalidad.blogspot.com/2017/10/analisis-seis-sigma-six-sigma.html#.YDvkdGhKjIV>
- Gómez Bolívar, C. D. (2019). *Guía metodológica para la aplicación del lean six sigma en procesos de fabricación de plásticos en multinacionales colombianas* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- GOMEZ, R.A & BARRERA, S. (2013). Seis sigma: un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica. 2021, de dcpace Sitio web: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/515/1/13.%20223-242.pdf>
- GUTIERREZ, H. & DE LA VARA, R. (2018). CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA. 2021, de Mc Graw Hill Sitio web: <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- Gutiérrez, L, & Tamayo, I. (2007). LOS MODELOS DE LA GESTION DE LA CALIDAD COMO MEDIOS FACILITADORES PARA LA OBTENCION DE FLEXIBILIDAD ESTRATEGICA EN LA ORGANIZACION. 2021, de Dialnet Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2486936.pdf>
- Hernández C, I. (Diciembre 2014). La metodología six sigma, sus herramientas y ventajas. 2021, de Universidad Veracruzana Sitio web: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47659/HernandezMartinezCuauhtemocl.pdf?sequence=1>
- Hernández-López, V. M., Vargas-Vázquez, M., Luisa, P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y

diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Torreón, Coahuila de Zaragoza. [Consulta: 07/mayo/2021]

Jiménez, H., & Amaya, C. (2014). Lean six sigma in small and medium enterprises: A methodological approach. *Revista Chilena de Ingeniería*, 22(2), 263-277.

Jorge, S. M. (2019). Efectos del color del acolchado y producción en tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

López, G. (2001). Metodología si-sigma: calidad industrial. *Artículo consultado en EBSCO, Baja California, México, Investigador del instituto de Ingeniería, UABC.*

Mascorro, A. G., & Aguilar, L. V. (2000). Lagunero 87: variedad de frijol para siembra de riego en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1), 167.

MATZUNAGA Z. & L. U. (2017). Implementación de un sistema de mejora de calidad y productividad en la línea de fileteado y envasado de pescados en conserva basado en las herramientas de la metodología SIX SIGMA.

Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 27(3), 55-62.

Medina, S. D. J. M., Mora, M. L., Egido, M. R., Fernández, O. G., Fernández, E. Q., Valdés, G. R.,... & Cárdenas, M. (2015). Nuevas variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú", Santa Clara, Cuba. *Centro Agrícola*, 42(4), 89-91.

Mendoza, M. C., Vallejo, P. R., González, F. C., & Colín, S. M. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 111-119.

Morales J, A. (2007). Aplicación de la metodología seis sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo. 2021, de

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA Sitio web:
<http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014873/014873.pdf>

Morales, F. J. (1994). El mosaico dorado del frijol: Avances de investigación.

Muñoz, M. A. (2016). Aplicación de la metodología six sigma para satisfacer la demanda de chile en escabeche en la empresa productos alimenticios "El mixteco". 2021, de UPICCSA Sitio web:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20311/Tesina%20Seis%20Sigma%20Equipo%203%20CD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pedroza-Sandoval, A., Castillo-Tovar, H. E., & Samaniego-Gaxiola, J. A. Evaluación patogénica de diferentes hongos asociados a la pudrición de la raíz en dos variedades de frijol y distintos contenidos de humedad edáfica. *Revista Chapingo*, 101.

Pérez-López, E., & García-Cerdas, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista tecnología en Marcha*, 27(3), ág-88.

Ramírez, S. (2012). Propuesta para la implementación de la metodología seis Sigma para empresas con sistemas de gestión certificados.

Reyes-Matamoros, J., Martínez-Moreno, D., Rueda-Luna, R., & Rodríguez-Ramírez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 191-203.

Rivas, E. R., Bernal, L. E. P., & Veyna, Ó. P. (2011). Eficiencia y competitividad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Zacatecas ante la apertura comercial.

Roberto José Herrera R. J., & Fontalvo H. T. J. (FERBRERO 2011). Seis Sigma Método Estadístico y SUS aplicaciones. 2021, de LIBRO DE SEIS SIGMA Sitio web:
http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55821.pdf

Sandoval, A. P., & Gaxiola, J. A. S. (2003). Efecto del subsoleo, materia orgánica y diferentes variedades en el patosistema del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 272-277.

- Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallego, J. A., Schwenstesius de Rindermann, R., Damián Huato, M. Á., & Larqué Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 363-380.
- Schwentesiuss-Rindermann, R., Ayala-Garay, A. V., & Gómez-Cruz, M. Á. (2011). Liberalización comercial del sector agropecuario de México: competitividad del frijol. *Journal of Globalization, Competitiveness & Governability/Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad/Revista de Globalização, Competitividade e Governabilidade*, 5(1), 94-111.
- Terrés-Speziale, A. M. (2007). SIX SIGMA: determinación de metas analíticas. *Rev Mex Patol Clin*, 54(1), 28-39.
- Torregrosa, M. B., Soler, V. G., & Perez-Bernabeu, E. (2019). Metodología de integración: ISO 9001, ISO 31000 y Six Sigma.
- Vergara, I. G. P., & López, J. A. R. (2019). Lean, Seis Sigma y Herramientas Cuantitativas: Una Experiencia Real en el Mejoramiento Productivo de Procesos de la Industria Gráfica en Colombia//Lean, Six Sigma and Quantitative Tools: A Real Experience in the Productive Improvement of Processes of th. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 27, 259-284.
- VERONICA P. A., & ADRIANA L. C. V., & WADE P. (2021). SIX SIGMA. 2021, de DIGITAL REVISTAS CSE Sitio web: <http://200.16.86.50/digital/33/revistas/cse/sixsigma-six.pdf>