

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



**Determinación de regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua
para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica**

POR:

MARIANA ISABEL GARCIA TERRAZAS

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

**Determinación de regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua
para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica**

POR:
MARIANA ISABEL GARCIA TERRAZAS

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por


DR. PABLO PRECIADO RANGEL
Presidente


DR. ESTEBAN SÁNCHEZ CHÁVEZ
Vocal


ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS
Vocal


M.C. FRANCISCA SÁNCHEZ BERNAL
Vocal Suplente


M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio, 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

**Determinación de regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua
para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica**

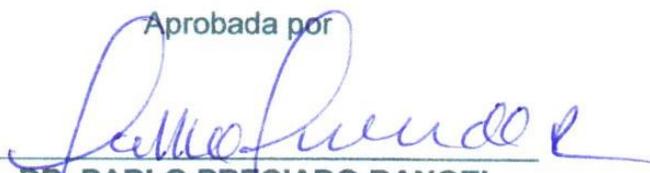
POR:
MARIANA ISABEL GARCIA TERRAZAS

TESIS

Que se somete a la consideración del Comité de Asesoría como requisito parcial
para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por


DR. PABLO PRECIADO RANGEL
Asesor Principal


DR. ESTEBAN SÁNCHEZ CHÁVEZ
Coasesor


ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS
Coesor


M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio, 2019



AGRADECIMIENTOS

A **Dios** principalmente por permitirme la vida para poder realizar cada meta y llegar hasta donde estoy el día de hoy, ya que sin El estoy segura que nada habría logrado.

A **mi Alma Terra Mater**, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme las puertas y tener el honor de haber sido parte de ella ya que ella siempre será parte de mí, por los momentos increíbles y enseñanzas que pude obtener. De la que siempre voy a estar orgullosa de decir que soy Buitre.

A todos **Mis Maestros**, a los cuales siempre tendré en alto por haberme transmitido un poco de sus conocimientos tanto profesionales como personales. En especial al **Ing. Juan Manuel Nava Santos, MC Francisca Sánchez Bernal, Dra. Oralia Antuna Grijalva, MC Claudio Ibarra, MC José Luis Coyac Rdz., Dr. Armando Espinoza Banda Y Ing. Fabian García Espinoza**, que para mí llegaron a ser grandes amigos los cuales me dieron apoyo en momentos especiales en mi vida, por creer en mí y motivarme a ser mejor día con día.

Al **Dr. Pablo Preciado Rangel**, por brindarme su amistad y darme los medios para poder sacar adelante mi trabajo de investigación, sin su ayuda jamás habría llegado hasta aquí.

Al **Dr. Esteban Sánchez Chávez**, por brindarme su amistad, apoyo y confianza y darme la oportunidad de formar parte de su proyecto y asignarme tareas para poder sacar adelante mi tesis, sin duda alguna aprendí muchísimo y estaré siempre agradecida por hacer explotar un potencial que ni yo misma sabía que tenía. Sin Ud. nada de esto habría sido posible.

Al **Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Unidad Delicias** por brindarme la oportunidad y abrirme las puertas para poder llevar a cabo mi trabajo de investigación. En el cual también conocí personas increíbles a las cuales siempre llevare en mi corazón.

Al **CONACYT**, Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)- México por el apoyo otorgado en la Convocatoria Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales 2015, al Proyecto 1529 “Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México”.

A La **Dra. María Antonia Flores Córdova**, por facilitarme el Software necesario para llevar a cabo este trabajo de investigación y ampliar mi panorama ante nuevas herramientas con las cuales puedo seguir trabajando y aprendiendo.

A la **Familia Gutiérrez Ruelas y mi amiga Nayeli**, quienes fueron también mi familia cuando cumplía con mis prácticas profesionales, quienes me otorgaron cariño y ese calor que tanto se extraña cuando está lejos de casa.

A **Aaron García Camacho**, quien es mi mejor amigo desde la adolescencia y quien siempre me enseñó a soñar más allá de lo que se podía, a quien agradezco su amistad incondicional a pesar de la distancia ya que siempre está pendiente de mí, Gracias por siempre estar.

A mis **Amigos Azucena Nefertiti Paniagua y Martin Sánchez** quienes a lo largo de mi carrera estuvieron apoyándome y hasta el día de hoy permanecen a mi lado, a los cuales quiero muchísimo y siempre les estaré agradecida.

A **Alex Márquez**, quien más que un compañero se convirtió en un gran amigo y conejero quien me hizo los días más amenos en el laboratorio, el cual siempre tuvo la disposición de enseñarme cuando quería aprender algo de lo que el realizaba.

Al **M.C. Ezequiel Muñoz Márquez y Dr. Juan Pedro Sida**, quienes fueron siempre los mejores amigos y quienes me alegraban el día con sus ocurrencias a los cuales les tengo gran cariño y admiración.

A la **Dra. Mónica Alvarado Gonzales y Dra. Celia Chávez**, por brindarme su apoyo, confianza y amistad incondicional a pesar del poco tiempo de conocernos, de corazón, Gracias. Las estimo demasiado por ser mujeres admirables.

DEDICATORIAS

A **Mi Madre Imelda Terrazas Seceña**, a la cual le agradezco por haberme dado todo en la vida, su amor y fortaleza, la que me enseñó a no rendirme y a ser una persona íntegra. Quien siempre está en mi mente con esa frase que de pequeña me decía “Si lo puedes pensar, lo puedes lograr”. Te amare por siempre.

A **Mi Padre Benedicto Del Real Monreal**, quien me dio la oportunidad del día de hoy tener una carrera con la cual puedo salir al mundo y enfrentarme para tener un mejor futuro, de quien estoy orgullosa por ser quien es, un buen hombre y jefe de familia. Te amo Chonchito.

† De una forma muy especial este trabajo está dedicado a la memoria de **Mi Hermano Eduardo del Real Terrazas**, quien fue en mi vida al primer hombre que amé y mi gran amor, a quien recordé día con día mientras estudiaba y me motivaba a seguir cuando sentía que no podía más, no sabes lo mucho que sigo aprendiendo de ti a pesar de que ya no estas. Te amo y Te extraño.

A **Mis Abuelos, Olga Seceña Carrillo y † Roberto Terrazas Rivera**, quienes me criaron y me enseñaron a amar la naturaleza, a quienes les debo toda mi felicidad de niña los amo. Tito aun me falto aprender mucho de ti, te extraño.

De manera muy especial le dedico este trabajo a **Mi Novio, Oscar Sariñana Aldaco**, del cual estoy muy orgullosa y sobre todo agradecida por día a día motivarme y ayudarme a ser mejor. Por no despegarte un mes entero del hospital esperando que yo despertara y estar con mis papás. Eres a quien quiero amar el resto de mi vida muchas Gracias por estar hoy en día conmigo, Te Amo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica con el propósito de georreferenciar las zonas productoras, conocer las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se cultivan, de las diferentes variedades de frijol y su calidad nutricional. Para ello se recolectaron 105 Variedades de frijol en todo México, seleccionando 17 las cuales fueron cosechadas en el estado de Chihuahua. Se evaluaron características físicas: ancho, largo, grosor, peso de 100 semillas (gr) y el color de grano dado por la luminosidad, croma y Angulo Hue. Químicas: Grasa, Proteína, Energía. Además, se determinó la concentración de micro y macronutrientes en el grano. Se estudió también el tipo de suelo predominante y cuál es el más adecuado para su siembra. Se Demostró que la zona con mayor producción es el noroeste del estado, cuenta con suelos ricos en Materia Orgánica de textura migajón arcillosa. Dentro de las variedades estudiadas existen 6 que sobresalieron, la variedad Ojo de cabra #23 destaco en N (3.56%), P (0.22%), K (1.72%), y Zn (52.12ppm). La variedad Pinto #97 en Ca (0.28%) y Fe (103.75ppm). En cuanto a grasa la Ojo de cabra #29 (1.98%), proteína Ejotero Silvestre #82 (29.79%) y en energía Pinto Saltillo #1 (339.91 Kcal). Siendo aptas para someterse a un programa de biofortificación para aumentar la calidad del grano y combatir la desnutrición en México y el mundo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, Sistemas de Información Geográfica, Calidad Nutricional.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen y taxonomía del frijol.....	4
2.2. Importancia del frijol en México.....	4
2.3. Propiedades del frijol que impactan en la salud humana.....	5
2.4. Producción del frijol en México y el mundo.....	6
2.5. Agricultura de precisión (AP).....	7
2.5.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	7
2.5.2. Ventajas de la AP.....	7
2.6. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	8
2.7. Componentes de un SIG.....	10
2.8. Uso de los SIG en la Agricultura.....	12
2.9. Planeación a través de un SIG.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14

3.1. Localización del sitio de estudio.....	14
3.2. Recolección de variedades.....	15
3.3. Variedades seleccionadas.....	16
3.4. Determinación de propiedades Fisicoquímicas del frijol.....	19
3.4.1. Análisis de parámetros físicos.....	19
3.4.1.1. Tamaño de la semilla.....	20
3.4.1.2. Peso de la semilla.....	20
3.4.1.3. Color.....	20
3.4.2. Análisis de parámetros químicos del frijol.....	21
3.4.2.1. Determinación de humedad.....	21
3.4.2.2. Determinación de cenizas.....	21
3.4.2.3. Determinación de grasa.....	21
3.4.2.4. Determinación de fibra.....	22
3.4.2.5. Determinación de carbohidratos.....	23
3.4.2.6. Determinación de energía.....	23
3.5. Diseño experimental y tratamientos.....	23
3.6. Análisis Nutricional	23
3.6.1 Contenido de micronutrientes.....	23
3.6.2. Contenido de macronutrientes.....	24
3.7. Sistema de Información Geográfica.....	25
3.7.1. Software empleados.....	25
3.7.1.1. Qgis.....	25
3.7.1.2. Bing.....	26
3.7.1.3. Microsoft Excel.....	26
3.8. Determinación de ubicación donde fueron recolectadas las muestras.....	26
3.9. Metodología para la elaboración de los mapas.....	27
3.10. Levantamiento de coordenadas mediante GPS.....	28
3.11. Conversión de coordenadas decimales a UTM.....	28

3.12. Creación de un archivo Shape del lugar de estudio.....	30
3.13. Importación de coordenadas a la plataforma de QGIS.....	30
3.14. Calidad del mapa de prescripción.....	33
3.15. Análisis de suelo.....	33
3.15.1. Propiedades Básicas.....	34
3.15.2. Propiedades de Salinidad.....	34
3.16. Propiedades de Fertilidad.....	34
3.16.1. Macronutrientes.....	34
3.16.2. Micronutrientes.....	34
3.17. Propiedades Físicas.....	35
3.18. Determinación de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.....	35
3.18.1 Propiedades básicas.....	35
3.18.1.1. Materia orgánica (Walkley y Black).....	35
3.18.1.2. Carbonatos de calcio (manómetro de terminal abierta, eudiómetro o calcímetro).....	36
3.18.1.3. Textura (Densímetro de Bouyoucos).....	37
3.18.1.4. pH del suelo en CaCl ₂	38
3.19. Propiedades de Salinidad.....	38
3.19.1. Porcentaje de saturación y pH en pasta saturada.....	38
3.19.2. Conductividad eléctrica (solu-bridge).....	39
3.19.3. Por ciento de sodio intercambiable.....	39
3.20. Propiedades de Fertilidad.....	40
3.20.1. Contenido de nitratos (brucina y colorimetría)	40
3.20.2. Fósforo asimilable (Olsen).....	41
3.20.3. Fósforo asimilable (Bray P1).....	41
3.20.4. Potasio, calcio, magnesio y sodio (espectrofotometría de absorción atómica).....	42
3.20.5. Micronutrientes (Cu, Fe, Mn, y Zn, en DTPA y espectrofotometría de absorción atómica).....	43

3.21. Propiedades físicas.....	44
3.21.1. Conductividad hidráulica (método del permeámetro de carga hidráulica corriente).....	44
3.21.2. Densidad del suelo.....	44
3.21.3. Porcentaje de espacio poroso.....	45
3.21.4. Estabilidad de agregados	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Sistema de Información Geográfica	47
4.2. Principales zonas productoras de frijol y tipo de suelo del estado de Chihuahua.....	47
4.3. Análisis de parámetros físicos.....	58
4.4. Análisis de parámetros químicos.....	60
4.5. Análisis Nutricional.....	62
4.5.1. Macronutrientes.....	62
4.5.2. Micronutrientes.....	64
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. LITERATURA CITADA.....	69
VII. ANEXOS.....	76
7.1. Análisis físico de suelo.....	76
7.2. Análisis Básico de suelo.....	77
7.3. Análisis nutricional de suelo.....	78
7.3.1. Concentración de Macronutrientes.....	78
7.3.2. Concentración de Micronutrientes.....	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Variedades de frijol seleccionadas para el estudio.	16
Cuadro 4.1. Información general de las variedades cosechadas.	48
Cuadro 4.2. Valores de propiedades físicas de color del grano de diferentes variedades de frijol.	59
Cuadro 4.3. Valores de propiedades químicas del grano de diferentes variedades de frijol.	61
Cuadro 4.4. Concentración de macronutrientes de las distintas variedades de frijol.	63
Cuadro 4.5. Concentración de micronutrientes de las distintas variedades de frijol.	65
Cuadro 7.1. Propiedades del análisis físico del suelo en el que se sembraron las distintas variedades de frijol.	76
Cuadro 7.2. Propiedades del análisis básico del suelo en el que se sembraron las distintas variedades de frijol.	77
Cuadro 7.3. Concentración de macronutrientes en el suelo en que se sembraron las distintas variedades de frijol.	78
Cuadro 7.4. Concentración de micronutrientes en el suelo en que se sembraron las distintas variedades de frijol.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciclo de un SIG.....	8
Figura 2.2. Elementos Básicos de un SIG.....	11
Figura 3.1. Localización del sitio de estudio.....	14
Figura 3.2. Localización vía satélite del Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal -CIAD.....	14
Figura 3.3. Metodología para elaboración de mapas.....	27
Figura 3.4. Base de datos sobre los productores y coordenadas de las variedades de frijol.....	28
Figura 3.5. Conversion de coordenadas decimales a UTM.....	29
Figura 3.6 Archivo CSV (delimitado por comas).....	29
Figura 3.7. Creacion de capa vectorial con archivo Shape.....	30
Figura 3.8. Importación de coordenadas a QGIS.....	31
Figura 3.9. Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC).....	31
Figura 3.10. Capas de Información.....	32
Figura 3.11. Tabla de atributos.....	32
Figura 3.12. Tabla de atributos automatica.....	32
Figura 4.1. Puntos geográficos de las variedades de frijol en el estado de Chihuahua.....	47
Figura 4.2. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #1 Pinto Saltillo Mejorado.....	49
Figura 4.3. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #2 Pinto Saltillo.....	50
Figura 4.4. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #3 Pinto Saltillo.....	50
Figura 4.5. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #20 Pinto Americano.....	51
Figura 4.6. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #22 Ojo de Cabra.....	51
Figura 4.7. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #23 Ojo de Cabra.....	52
Figura 4.8. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #24 Ojo de Cabra.....	52
Figura 4.9. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #25 Pinto Saltillo.....	53
Figura 4.10. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #28 Pinto Saltillo.....	53
Figura 4.11. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #29 Ojo de Cabra Combinado.....	54
Figura 4.12. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #32 Pinto Saltillo.....	54
Figura 4.13. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #33 Pinto Saltillo.....	55

Figura 4.14. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #64 Pinto.55

Figura 4.15. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #82 Ejotero Silvestre.
.....56

Figura 4.16. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #96 Bordaes.56

Figura 4.17. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #97 Pinto.57

Figura 4.18. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #98 Pinto Centauro. 57

I. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) común es considerada la leguminosa más importante para consumo humano a nivel mundial, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2002; Suárez-Martínez *et al.*, 2016).

El frijol representa un cultivo clave en la dieta de los mexicanos. En 2017, SAGARPA establece que, en México, el consumo per cápita de este producto es de 8.4 kg. al año y el valor de la producción se estima en 9.5 mil millones de pesos. Sin embargo, durante 2016 las 1.08 millones de toneladas generadas cubrieron 89.24% del consumo nacional. El resto se importó a Estados Unidos (84.07%), Canadá (13.47%) y China (2.05%). Posicionando a México en el cuarto productor pues genera el 5.5% de producción mundial (Planeación Agrícola Nacional 2016-2030). Durante los años anteriores la producción de frijol en el país aumentó 14 por ciento, llegando a un millón 76 mil toneladas y ocupando el estado de Chihuahua el tercer lugar en producción nacional, con 101 mil 999 toneladas, con 9.5 del volumen total (SAGARPA, 2017).

Dada la importancia de este cultivo en la alimentación y salud, es preciso conocer su distribución geográfica y características de fertilidad de los suelos. En la Actualidad, por falta de planeación se está enfrentando una situación lamentable en la que se verán afectados los estados donde se concentra la mayor producción de frijol en el país, entre ellos el estado de Chihuahua, ya que se tiene previsto un posible desplome del 50% de la cosecha de frijol (Piñón, 2018) afortunadamente, se cuenta con herramientas que pueden ayudar a planear y prever problemáticas

de forma más adecuada de acuerdo a las necesidades específicas del cultivo al establecer mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya que una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como, la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica (Sánchez y Ruiz, 1995).

En estudios previos con base en SIG López-Soto *et al.* (2005) determinaron los tipos climáticos de distribución de 25 especies silvestres del género *Phaseolus*, cuestión que resulta indispensable para la descripción de su distribución geográfica en México. Para ello se conformó una base de datos de colectas realizadas en el interior del país en las últimas dos décadas donde a partir de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta, se caracterizó la climatología de cada punto. Por otro lado, Espitia-Rangel *et al.* (2010) tuvo como objetivo obtener los patrones de distribución de *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* y sus parientes silvestres, mediante el uso de SIG, además de realizar un patrón de variación geográfica de las zonas donde se localizan.

En general, existe escasa información referente al tema en cuestión, por lo cual la presente investigación tuvo como objetivo la determinación de regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica con el propósito de georreferenciar las zonas productoras, conocer las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se cultivan, de las diferentes variedades de frijol y su calidad nutricional.

1.1. Objetivo general

- Determinar las regiones productoras de frijol en el estado de Chihuahua para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica con el propósito de georreferenciar las zonas productoras, conocer las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se cultivan, de las diferentes variedades de frijol y su calidad nutricional.

1.2. Objetivos específicos

- Generar un Sistema de Información Geográfica en el cultivo de Frijol en el Estado de Chihuahua.
- Determinar las principales regiones productoras de frijol en el Estado de Chihuahua.
- Caracterizar las condiciones edafoclimáticas de las principales regiones productoras de frijol en el Estado de Chihuahua.
- Caracterizar la calidad nutricional de las variedades de frijol cultivadas en el Estado de Chihuahua.

1.3. Hipótesis

El Sistema de Información Geográfica permitirá determinar las principales regiones productoras de frijol en el Estado de Chihuahua, así mismo, caracterizar las regiones productoras y finalmente, como influyen estas condiciones en la calidad nutricional de las variedades de frijol cultivadas en el estado de Chihuahua, con el potencial de producir un cultivo de mayor calidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y taxonomía del frijol

El frijol es un cultivo que históricamente se ha asociado con el desarrollo de culturas prehispánicas, y que actualmente juega un papel primordial como cultivo tradicional en varias regiones del mundo (Licea *et al.*, 2010). Entre los años 9000 y 5000 a. C. en diferentes partes del mundo se domesticaron diversas especies vegetales, entre ellas el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (Hernández-López *et al.*, 2013). México se ha reconocido como el más probable centro de su origen, o al menos, como el centro primario de diversificación. El cultivo del frijol se considera uno de los más antiguos. Algunos de los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica indican que se conocía hace algunos 5000 años antes de Cristo (Ulloa *et al.*, 2011). Taxonómicamente, el frijol corresponde a la especie del género *Phaseolus*.

Su nombre completo es *Phaseolus vulgaris* L., asignada por Linneo en 1753, a la tribu Phaseoleae, subfamilia Papilionoideae, familia Leguminosae y al orden Rosales (Piña-Guzmán, 2015).

2.2. Importancia del frijol en México

En México el frijol es el segundo producto más importante en el sector agroalimentario, no sólo por ser una fuente de ingresos para miles de productores, sino también por ocupar un lugar importante dentro de la dieta de la población, principalmente la de los estratos sociales de menores ingresos (SIACON-SAGARPA, 2006). Particularmente a nivel nacional, el frijol es la leguminosa de

mayor consumo ya que esta representa el 36% de la ingesta diaria de proteínas (Lara-Flores, 2015).

En el país está entre los siete productos básicos más importantes de la agricultura. Los granos leguminosos desempeñan un papel importante en la nutrición humana, siendo uno de los principales alimentos en la dieta estándar de las personas de bajos ingresos en los países en desarrollo, además una fuente importante de proteínas de bajo costo en comparación con las proteínas de origen animal (Jacinto *et al.*, 2002).

2.3. Propiedades del frijol que impactan en la salud humana

Las leguminosas constituyen una de las familias botánicas más importantes desde el punto de vista nutricional, siendo un componente importante de la dieta mediterránea y esencial en la de numerosos países en desarrollo (Delgado-Andrade *et al.*, 2016).

El frijol es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo ya que contiene calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, hierro, zinc, manganeso y azufre. Esta leguminosa es rica en componentes bioactivos como inhibidores de enzimas, lectinas, fitatos, oligosacáridos y compuestos fenólicos, que exhiben funciones metabólicas en humanos y animales (Suárez-Martínez *et al.*, 2016).

Entre las actividades biológicas observadas están la capacidad antioxidante, la reducción de colesterol y la reducción de lipoproteínas de baja densidad, por lo que tiene efecto protector contra enfermedades cardiovasculares también ha mostrado efectos favorables contra el cáncer debido a las propiedades anti

mutagénicas y anti proliferativas de sus compuestos fenólicos, lectinas e inhibidores de la proteasa. Adicionalmente, ha mostrado efectos sobre obesidad y diabetes debido a su contenido de almidón resistente e inhibidor de α -amilasa (Suárez-Martínez *et al.*, 2016). Esta leguminosa constituye una fuente de proteínas e hidratos de carbono natural; es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tiamina (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2010).

2.4. Producción del frijol en México y el mundo

La producción mundial de frijol registra tendencia al alza durante la década reciente, impulsada por aumentos en la superficie cultivada y en los rendimientos promedio por unidad de superficie. En siete países se concentra el 63.0 por ciento de la cosecha mundial de la leguminosa: India, Myanmar, Brasil, Estados Unidos, México, China y Tanzania. El comercio de frijol en el mercado internacional es reducido en comparación con otros productos agrícolas; en general, los principales países productores destacan también como importantes consumidores (FAO, 2015). Específicamente en México el frijol es producido en las 32 entidades del país, contabilizando anualmente más de un millón 88 mil millones de toneladas, el consumo anual per cápita de frijol es de 9.9 kg (SAGARPA, 2018).

La situación actual según SIAP (2018), con los datos recolectados en el avance de siembras y cosechas, el frijol cuenta con una superficie sembrada de: 273,510 has, siniestrada de: 448 has y cosechada de: 272,293 has. En cuanto a la producción obtenida fue un total de 337,576 toneladas, dando así un rendimiento de: 1.240 ton/ha (SIAP, 2018).

2.5. Agricultura de precisión (AP)

La agricultura de precisión (AP) es una concepción que busca optimizar el proceso productivo a partir del manejo de la variabilidad del agroecosistema (Leiva, 2003).

La agricultura de precisión también conocida como agricultura específica por sitio, utiliza tecnologías de información espacial, como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para recolectar información que puede ser utilizada para evaluar con precisión la densidad de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas, y poder predecir con exactitud la producción (Lisarazo y Alfonso, 2010; Gil, 2010).

2.5.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Para llevar a cabo levantamientos de alta precisión es necesario utilizar equipos de medición de la tecnología más avanzada, Global Position System (GPS) es un sistema apoyado por satélite que posibilita el conocimiento de nuestra posición exacta a cualquier hora del día o de la noche para cualquier punto de globo terrestre” GPS, propiedad de los EE. UU ofrece un servicio mundial para todos los usuarios que tengan esta tecnología que utiliza trilateración para poder conocer la posición exacta de los usuarios sobre la superficie terrestre (Amado, 1997).

2.5.2. Ventajas de la AP

Haciendo énfasis en las ventajas de la AP, Grupo sensor (1993) indica que el objetivo es aumentar la productividad de los operarios, reduciendo su trabajo

mediante la automatización de aquellas tareas que puedan ser desarrolladas por dicha técnica. La reducción de los insumos mediante su aplicación inteligente realizando las mediciones necesarias a través de sensores altamente precisos y a su vez haciendo uso de tecnología avanzada. Aumentar la simplicidad y comodidad de los operarios, facilitando su labor diaria. Todas estas ventajas dando como resultado el aumento de la rentabilidad para el productor agropecuario.

2.6. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

De acuerdo a INEGI (2014) existen diversas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente como base de datos y otras enfatizan en el hecho de ser una herramienta que nos ayuda en la toma de decisiones, en conclusión, se trata de un sistema integrado para trabajar de forma espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en amplias áreas de conocimiento (Figura 2.1).



Figura 2.1. Ciclo de un SIG.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas diseñadas para la obtención, almacenamiento y recuperación de datos espaciales

del mundo real (INEGI, 2014). Partiendo de lo anteriormente dicho, Tomlin (1990) nos da una definición más precisa y formal de lo que realmente es un SIG y lo que nos permite realizar:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) como sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

Esta es una definición muy amplia, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos, en palabras más habituales, un SIG es un mapa de nivel superior diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas (Star y Estes, 1990).

Peña (2006) menciona que los SIG nos permiten gestionar y analizar información espacial para resolver rápidamente problemas y dar respuestas inmediatas. La primera referencia al término SIG aparece por Tomlinson en 1967 citado por Peña (2006), referida a una aplicación informativa cuyo objeto es desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada.

2.7. Componentes de un SIG

En su concepción actual los SIG son sistemas complejos que integran una serie de distintos elementos interrelacionados (ESRI, 2003). El estudio de todos y cada uno de estos elementos es el fundamento para el estudio global de los Sistemas de Información Geográfica.

El mismo autor menciona que una forma de entender el sistema SIG es como es formado por una serie de subsistemas, cada uno de ellos encargado de una serie de funciones particulares. Es habitual citar tres subsistemas fundamentales:

- Subsistema de datos. Se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, y la gestión de estos dentro del SIG. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica. Crea representaciones a partir de los datos (mapas, leyendas, etc.) permitiendo así la interacción con ellos. Entre otras, incorpora también las funcionalidades de edición.
- Subsistema de análisis. Contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

Para que un SIG pueda considerarse una herramienta útil y válida con carácter general, debe incorporar estos tres subsistemas en cierta medida (ESRI, 2003). Otra forma distinta de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen. Cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto (Figura 2.2).



Figura 2.2. Elementos Básicos de un SIG.

- **Datos.** Son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos.** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software.** Es necesaria una aplicación de informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- **Hardware.** Equipo necesario para ejecutar el Software.

- **Personas.** Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.

2.8. Uso de los SIG en la Agricultura

Una de las aplicaciones más interesantes e inmediatas puede ser la integración de la base de datos SIG en los procesos administrativos de los cultivos con el fin de mejorar los procesos de toma de decisiones. Con esta idea, se generan mapas de volúmenes de producción de las diferentes subparcelas con el propósito de identificar áreas con relativamente baja producción, en comparación con el potencial de la plantación. Esta información, según Stoorvogel *et al.* (2000) y Zhang *et al.* (2012) sugiere un sistema que sirva de base a la toma de decisiones tratándose de áreas complejas donde los procesos de rotación, asociación y sustitución puedan reemplazarse por sistemas monoculturales intensos.

2.9. Planeación a través de un SIG

En el proceso de planear el uso del suelo es necesario rediseñar procesos de planeación multiobjetivo que incluyan las diferentes actividades desarrolladas en las zonas rurales. En este contexto, las tecnologías geoespaciales se convierten en una herramienta ideal en la obtención de los elementos científicos y críticos necesarios para apoyar los procesos de planeación y diseñar el uso de la tierra de las comunidades agrarias, según coinciden Arnold *et al.* (2000), Martínez y Calera (2001) y Runquist *et al.* (2000).

La versatilidad y la interactividad de un SIG proporciona una visión general del sistema agroecológico y de sus elementos constitutivos, así como muestra su valía al integrar todas las variables de los procesos agrícolas, ofreciendo una infraestructura jerárquica que puede llevarse hasta el nivel de subparcelas productivas, haciendo más eficientes sus posibilidades, administración y manejo, como lo señalan Skop y Schou (1999) y Williamson y Goes (2001).

De esta manera, indican Aspinall (2002) y Brooner (2002) las tecnologías SIG soportan los procesos de toma de decisiones a partir de la interpretación correcta de la asociación local entre agricultura y recursos naturales proporcionando elementos científicos para el direccionamiento de estrategias requeridas para el desarrollo sostenible, complementando el conocimiento empírico y las decisiones administrativas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio de estudio

En la Figura 3.1 se muestra el estado de Chihuahua, ubicado en la región noreste del país, el cual está conformado por sesenta y siete municipios, teniendo como capital Chihuahua. Este es la entidad federativa más extensa del país con más de 250 000 km² con coordenadas geográficas 28° 48' 51" N, 106° 26' 22" W con altitud máxima de 3333 msnm, en el cual tuvo lugar el presente estudio.



Figura 3.1. Localización del sitio de estudio.

En la Figura 3.2 se muestra el Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal-CIAD Delicias ubicado en las coordenadas geográficas 28°10'21.3"N 105°27'17.2"W, lugar en el cual se llevaron a cabo los análisis correspondientes a la investigación.



Figura 3.2. Localización vía satélite del Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal -CIAD.

3.2. Recolección de variedades

Se recolectaron 105 variedades de semillas de frijol a nivel nacional. Las variedades recolectadas por Estado del país fueron: Chihuahua (frijol Pinto Saltillo, Pinto Americano, Ojo de Cabra, Ejote Silvestre y Bordales); Durango (frijol Negro 8025, Pinto Bravo, Flor de Mayo, Pinto Libertad, Pinto Centauro, Negro San Luis, Pinto Saltillo, Pinto Centenario, Pinto Coloso, Negro bola, Pinto Canario y Patol); Zacatecas (frijol Pinto Saltillo, Negro Bola, Pinto obscuro y Bayo); Sinaloa (frijol higuera Azufrado y Moyocoa); Oaxaca (frijol flor de Mayo, Rojo Enredador, Cuarenteño "Bayo", Negro Criollo, Amarillo, Negro guaca, Rojo Mayo, Blanco Alubia, Peruano, Santanero, Biché o Costeño, Blanco Michigan, Peruano o Amarillo, Negro Bola, Frijolon Negro, Bayo Bola, Frijolon Blanco, Frijolon 1, Frijolon rojo y Pinto Americano); Veracruz (frijol Negro Jamapa, Frijol Bayo y Pinto); Tabasco (frijol Negro Jamapa, Bayo, Pelón obscuro, Pashate y Pelón rojo); Yucatán (frijol Blanco Pelón, Negro, Frijol Rosa "Bayo", Frijol Rojo, Negro lx Pelón, Frijol Mejenives, Rojo Pentulillo, Hibes Pinto, X-Pelón, Ojo Jabalí, Negro Jamapa, Oxo, Tzmá y Petulillo lenteja); Chiapas (frijol Escumite o terapi y Frijol Negro); Puebla (frijol Negro orgánico, Mantequilla, Negro Michigan, Ayocote Amarillo, Amarillo Abolado, Alubia, Frijol cacahuate, Ayocote obscuro y Jaracho); Jalisco (frijol texano, Azufrado, Frijol Laubia, Peruano Bola, Flor de Junio, Peruano Higuera, Negro, Frijol Chihcaro); Morelos (frijol Sangre de Toro, Peruano, Flor de Mayo, Negro, Pinto); Guanajuato (frijol Flor de Mayo); Michoacan (frijol Pinto) y Estado de México (frijol Strike). Además, se recolectaron dos variedades de frijol representativas de Cuba por su alto valor nutricional (frijol Negro V-6 y Negro V-7).

3.3. Variedades seleccionadas

De las variedades recolectadas se escogieron diecisiete, tomando en cuenta tomando criterios de color de la testa, propiedades fisicoquímicas, su región de producción y suelo de su lugar de origen. Las variedades seleccionadas fueron las siguientes.

Cuadro 3.1. Variedades de frijol seleccionadas para el estudio.

#	Localidad	Variedad	
1	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo mejorado	
2	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo	
3	Rancho de Santiago, Guerrero, Chihuahua	Pinto saltillo	
20	SF de Conchos, Chihuahua	Pinto americano	

22 SF de Conchos,
Chihuahua Ojo de cabra



23 SF de Conchos,
Chihuahua Ojo de cabra



24 Guachochi,
Chihuahua Ojo de cabra



25 Armera,
Namiquipa,
Chihuahua Pinto saltillo



28 Ejido Saenz,
Guerrero,
Chihuahua Pinto saltillo



29 Rancho La Tena,
Guerrero,
Chihuahua Ojo de cabra
combinado



32 Soto Máynez,
Namiquipa,
Chihuahua

Pinto saltillo



33 Buenavista,
Batopilas,
Chihuahua

Pinto saltillo



64 Col. Nvo.
Horizonte,
Cauhtémoc,
Chihuahua

Pinto



82 Cauhtémoc,
Chihuahua

Ejotero Silvestre



96 Guachochi,
Chihuahua

Bordales



97 Namiquipa,
Chihuahua

Pinto



98 Cusiguriachi,
Chihuahua

Pinto centauro



3.4. Determinación de propiedades Físicoquímicas del frijol

La composición físicoquímica del frijol se determinó de acuerdo a la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000) y conforme a lo establecido a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

3.4.1. Análisis de parámetros físicos

Se trabajó con diecisiete variedades de frijol: Pinto saltillo mejorado, Pinto saltillo, Pinto americano, Ojo de cabra, Ojo de cabra combinado, Ejotero silvestre, Bordales, y Pinto centauro. Donados por diferentes pequeños y grandes productores del estado de Chihuahua, a los cuales se les realizaron las siguientes determinaciones:

3.4.1.1. Tamaño de la semilla

Se midieron tres dimensiones (longitud, ancho y grosor) en la semilla entera de cada variedad las cuales fueron determinadas mediante un Vernier (Aguirre-Santos et al., 2011).

3.4.1.2. Peso de la semilla

Se registró el peso en gramos de 100 semillas seleccionadas al azar de cada variedad con tres repeticiones y se obtuvo el promedio (Aguirre-Santos y Gómez-Aldapa, 2010).

3.4.1.3. Color

Se midieron los parámetros L, a y b mediante el uso de un equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta). El parámetro "L" representa la luminosidad, con un rango desde 0 (negro) hasta 100 (blanco). El parámetro "a" puede tener valores positivos (rojo) o negativos (verde). El parámetro "b" puede tener valores positivos (amarillo) o negativos (azul). Las mediciones se realizaron con tres repeticiones obteniendo después los promedios (Aguirre-Santos y Gomez- Aldapa, 2010). Con los valores de L, a y b se calculó los parámetros de Cromo (C) y Hue (H). El croma (C) se refiere al saturación del color, mientras que (H) se refiere al Tono del color. El color del frijol va a estar dado en función de los parámetros: L*(luminosidad), C* (croma), H*(tono), en este orden (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014). Adicional a esto se tomo una fotografia de cada variedad.

3.4.2. Análisis de parámetros químicos del frijol

3.4.2.1. Determinación de humedad

La determinación de la humedad se realizó utilizando el método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000) de secado en cápsula abierta. Para este análisis fue necesario tomar 1 g de muestra para cada repetición, contando con tres repeticiones para cada variedad de frijol, este se pesó en una cápsula de aluminio previamente secada a 75°C hasta peso constante. Después de pesar cada cápsula se introdujo al horno (Felisa) las cápsulas durante 12 horas a 75°C.

3.4.2.2. Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-066-S-1978. En un crisol a peso constante, se pesó un 1 g de muestra con tres repeticiones para cada variedad, se introdujeron en el desecador y posteriormente se colocaron los crisoles con muestras en una mufla (Felisa) a una temperatura de 600 °C, para carbonizar la muestra hasta alcanzar la calcinación. Los resultados obtenidos de ceniza se expresaron en porcentaje.

3.4.2.3. Determinación de grasa

La determinación de la grasa de las muestras de frijol se realizó mediante el método Goldfish (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, 2000). Se prepararon los matraces Goldfish secándolos en la estufa hasta alcanzar el peso constante. Se montó el equipo LABCONCO y dentro de papeles filtro se colocó la muestra y se

tapó con algodón y se introdujo dentro del equipo. Se agregó el solvente (éter de petróleo) y se dejó en reflujo durante 2 horas y media. Después de terminada la extracción, se recuperó el solvente por medio de una destilación, quedando únicamente la grasa en el matraz. Finalmente, se pesó el matraz con el residuo y se determinó el porcentaje de grasa de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-427-1982.

3.4.2.4. Determinación de fibra

La fibra cruda se determinó mediante la Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978. A partir de la muestra que anteriormente fue desengrasada, se realizó esta determinación. Las muestras fueron pesadas y registradas cada uno de sus pesos, se transfirió cada muestra a los vasos para fibra, a continuación a cada vaso se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1.25% con 1 ml de alcohol isoamílico como antiespumante. Se dejó la mezcla durante 30 minutos en ebullición, al finalizar se realizaron enjuagues para eliminar los residuos del ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el alcohol isoamílico y al mismo tiempo neutralizar la mezcla, posteriormente se le añadió a la muestra 200 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25% y se dejó hervir durante otros 30 minutos, a su término se realizaron enjuagues en fibra de vidrio hasta llegar a la neutralidad.

Posteriormente, se colocó la fibra de vidrio con muestra en la cápsula y se introdujeron a la estufa, se dejó secar durante 12 horas para asegurar que la muestra estuviera perfectamente seca. Concluido el secado se pesó la cápsula con

la fibra de vidrio y muestra, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de fibra contenida en cada una de las muestras.

3.4.2.5. Determinación de carbohidratos

La determinación de los carbohidratos se realizó por diferencia de los otros parámetros y se reportó en porcentaje.

3.4.2.6. Determinación de energía

La energía contenida en cada una de las muestras fue medida por la suma de las calorías contenida en carbohidratos, grasa y proteína. La energía se expresó en Kcal.

3.5. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diecisiete tratamientos y tres repeticiones: Pinto saltillo mejorado, Pinto saltillo, Pinto americano, Ojo de cabra, Ojo de cabra combinado, Ejotero silvestre, Bordales, y Pinto centauro.

3.6. Análisis Nutricional

3.6.1 Contenido de micronutrientes

Para el análisis de los micronutrientes, se tomaron 100 semillas de cada variedad las cuales se molieron en vasos pequeños de licuadora para obtener una harina fina, de la cual se pesó 1 g de muestra en la balanza analítica.

Después se realizó la digestión de cada una de las muestras, para ello se preparó una mezcla con 1000 mL de ácido nítrico, 100 mL de ácido clorhídrico y 25 mL de ácido sulfúrico, (mezcla triácida), y por cada gramo de muestra molida se le agregó 25 mL de la mezcla triácida, la muestra junto con el ácido se vació en vasos de precipitado de 250 mL y se colocaron sobre una parrilla digestora (LABCONCO), a cada vaso de precipitado se le colocó un vidrio de reloj junto con 3 perlas de ebullición mientras se digerían en la parrilla, una vez digerida la muestra con el ácido, se vació en matraces de 50 mL los cuales se les colocaron embudos de cristal con papel filtro, (esto para obtener una muestra más pura), posteriormente se aforaron los matraces con agua tridestilada y se vaciaron en tubos para centrifuga graduados de 50 mL. La concentración de Fe, Zn, Mn, Cu y Ni se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®) y se expresó en ppm para los micronutrientes.

3.6.2. Contenido de macronutrientes

La concentración de Mg, K, Ca, también se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®) de la misma manera que se determinaron los micronutrientes y se expresó en porcentaje para macronutrientes.

Para la determinación del Fósforo (P) se realizó por el método de meta vanadato de amonio (NH_4VO_3), en un rango de absorción de 430 nm frente a una curva patrón de K_2HPO_4 .

Para la preparación del reactivo del fósforo se utilizó un vaso de precipitado con 800 mL de H₂O desionizada caliente, casi en ebullición, se disolvió 10 g de molibdato-amónico [(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O] y 0.5 g de vanadato-amónico [NH₄VO₃]. Seguidamente se añadió, ya en frío, 4 mL de HNO₃, al principio gota a gota y con agitación continua. Posteriormente, se adicionaron 134 mL de HNO₃. Se aforó con H₂O desionizada hasta un volumen final de 1 L. Después en tubos de ensayo (2 tubos por cada repetición de muestra) se colocaron 3.5 mL de agua tridestilada y se le agregaron 500 mL de muestra de la variedad previamente digerida, finalmente se le añadió 1 mL del reactivo de fósforo, cada tubo se agitó con un Vortex (VWR) y se dejaron reposar una hora. Al finalizar la hora se procedió a la lectura de cada una de las muestras en el equipo de espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer). La concentración de P se expresó como mg⁻¹ de peso seco.

3.7. Sistema de Información Geográfica

3.7.1. Software empleados

- Qgis 2.14.22 Essen
- Bing Aerial with labels 2019
- Microsoft Excel 2017

3.7.1.1. Qgis

Es un sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que ofrece diversas funcionalidades básicas, entre las cuales podemos mencionar:

- Ver datos

- Exploracion de datos
- Diseño de mapas
- Crear, editar, manejar y exportar datos
- Analisis de datos espaciales
- Georeferenciar imágenes

3.7.1.2. Bing

Es un buscador o herramienta de búsqueda web de Microsoft, con un aspecto y un funcionamiento totalmente nuevo. Anteriormente Live Search, presentado por el director ejecutivo de Microsoft, Steve Ballmer. Tiene por objetivo facilitar las búsquedas, de manera instantánea, y mostrándote el resultado más útil y preciso posible. Contando también con imágenes satelitales de gran calidad para poder utilizarle de manera segura en SIG.

3.7.1.3. Microsoft Excel

Es un software que permite crear tablas, calcular y analizar datos. Se le denomina software de hoja de calculo Excel permite crear tablas que calculan de forma automatica los totales de los valores numericos con los cuales nos permite crear tablas o cuadros de nivel para repesantar valores determinados.

3.8. Determinación de ubicación donde fueron recolectadas las muestras

Para la determinacion de las coordenadas de donde se recolectaron las muestras de frijol se utilizo el Sistema de Pocisionamiento Global (GPS), con un receptor portatil desde un telefono movil mediante una aplicación. Poscisionandose

asi en la parcela y poniendo el marcha el GPS para la toma exacta de las coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud.

3.9. Metodología para la elaboracion de los mapas

Para lograr el objetivo de la siguiente investigación se generaron mapas correspondientes a cada variable que se busca representar, en cada uno de ellos siguiendo los pasos que se enmarcan a continuación (Figura 3.3).



Figura 3.3. Metodología para elaboración de mapas.

3.10. Levantamiento de coordenadas mediante GPS

La toma de coordenadas fueron tomadas por los proveedores de las muestras correspondientes a cada variedad en distintos puntos del estado de Chihuahua mediante la herramienta de GPS las cuales fueron colocadas en una tabla de excel en conjunto con los datos de cada productor y las localidades donde se cosecharon como se muestra en la Figura 3.4.

No.	Variedad	Localidad	Nombre del productor	Longitud W	Latitud N
1	Pinto sahilito mejorado	Charco, Chihuahua	Sr. Manuel Mojica	106° 12'	43.71343° 28'
2	Pinto sahilito	Charco, Chihuahua	Bernardo Duarte	106° 12'	13.31978° 28'
3	Pinto sahilito	Rancho De Santiago, Guerrero, Chihuahua	Ramon Hernandez Glez.	107° 11'	0.999° 28'
5	Pinto Americano	S.F. Conchos, Chihuahua	El Paisa	99° 20'	0.95523° 27'
6	Ojo de cabra	S.F. Conchos, Chihuahua	El Paisa	99° 18'	16.82944° 27'
7	Ojo de cabra	S.F. Conchos, Chihuahua	El Paisa	99° 18'	16.82944° 27'
8	Ojo de cabra	Guachochi, Chihuahua	Gustavo Daher	107° 38'	14.13° 27'
9	Pinto sahilito	Armera, Namiquipa, Chihuahua	Aaron Almeida B.	107° 24'	18.4° 29'
10	Pinto sahilito	Ojo de cabra, Guerrero, Chihuahua	Cesar Garcia Chavez	107° 17'	50.233° 28'
11	Ojo de cabra combinado	Rancho La Tena, Guerrero, Chihuahua	Oscar Ponce Gallegos	107° 17'	57.001° 28'
12	Pinto sahilito	Sotomaynez, Namiquipa, Chihuahua	Jose Manuel Mtz. Torrez	107° 28'	42.708° 28'
13	Pinto sahilito	Buenavista, Batopilas, Chihuahua	Enrique Chavez Rob.	107° 34'	24.638° 27'
14	Pinto	Coll. Nvo Horizonte, Cuahuitlan, Chihuahua	Diana Teresa Arechondo	106° 49'	13.999° 28'
82	Ejetero Silvestre	Cuauhtémoc, Chihuahua	Conrado Sanchez	106° 52'	44.30649° 28'
96	Bordales	Guachochi, Chihuahua		107° 4'	9.199° 26'
97	Pinto	Namiquipa, Chihuahua		107° 24'	46.481° 29'

Figura 3.4. Base de datos sobre los productores y coordenadas de las variedades de frijol.

3.11. Conversión de coordenadas decimales a UTM

Se tomaron las coordenadas del cuadro en decimales y se llevan a una tabla prepara para hacer las conversiones a coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) como se muestra en la Figura 3.5, para así después llevarlas a un archivo independiente en excel donde se guardan como CSV (delimitado por comas) para que pueda ser compatible con la plataforma de QGIS tal como se muestra en la Figura 3.6.

COORDENADAS DEL POLIGONO DEL PREDIO							
XXXXXXXXXXXXXXXXXX							
GEOGRAFICAS A UTM							
No. de vértice	COORDENADAS UTM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS				
	X	Y	Longitud W		Latitud N		
1	526459	3343395.26	104° 43'	30.19"	30° 13'	18.49"	
2	604925	3236738.45	103° 55'	12.39"	29° 15'	18.56"	
3	320073	3125092.35	106° 50'	01.91"	28° 14'	22.08"	
4	240584	3068602.58	107° 37'	51.77"	27° 43'	00.47"	
5	274054	3149440.19	107° 18'	26.52"	28° 27'	07.12"	
6	244511	2989775.36	107° 34'	29.07"	27° 00'	23.80"	

Figura 3.5. Conversion de coordenadas decimales a UTM.

X	y
381235.253	3145343.23
382085.263	3142198.72
285871.239	3137754
467073.525	3050490.44
469929.441	3051227.13
469929.441	3051227.13
240583.564	3068602.58
266397.853	3244203.09
275188.931	3157138.45
274054.016	3149440.19
258639.755	3214738.07
244510.659	2989775.36
321851.733	3191905.97
315048.949	3143335.05
293760.261	2968079.13
266236.023	3238184.28
320073.042	3125092.35

Figura 3.6 Archivo CSV (delimitado por comas).

3.12. Creación de un archivo Shape del lugar de estudio

Se añade una capa vectorial (en formato Shape), del lugar y datos que se desea representar en la interfaz de QGIS, ya que si esta no se encuentra en formato Shape no se puede realizar ningún cambio. Se utilizo así la capa con la información correspondiente a el estado de Chihuahua, ya que es el lugar de interés (Figura 3.7).

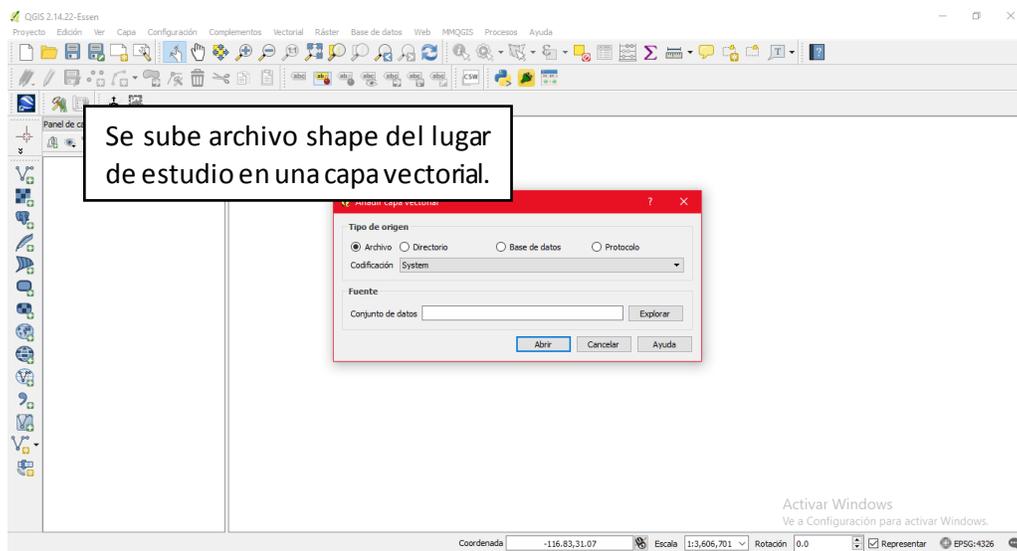


Figura 3.7. Creacion de capa vectorial con archivo Shape.

3.13 Importación de coordenadas a la plataforma de QGIS

Para poder crear el mapa se subieron a la plataforma las coordenadas (Figura 3.8). Se ubico el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), que en este caso fue WGS84/UTM zone 13N. WGS84 es el Datum utilizado por la mayoría de los sistemas de posicionamiento global (GPS) para registrar posiciones (coordenadas) en la tierra (Figura 3.9). Además se pueden agregar capas de información (Figura 3.10), a las cuales se les puede implementar datos e imágenes

a través de una tabla de atributos que se genera automáticamente cuando se sube la información (Figura 3.11 y Figura 3.12).

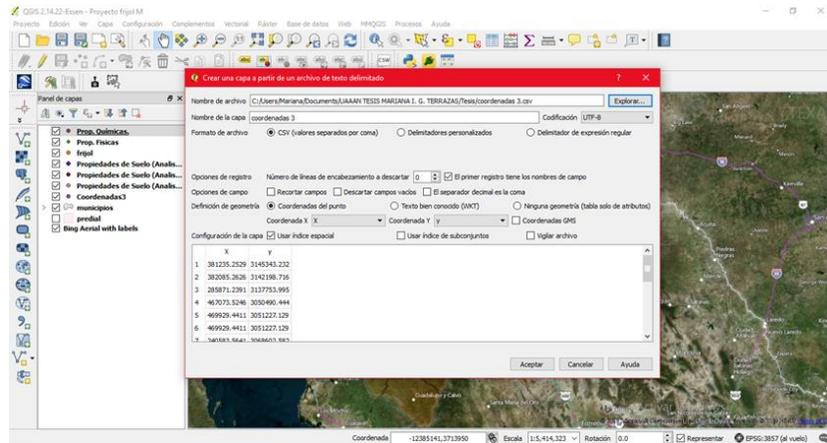


Figura 3.8. Importación de coordenadas a QGIS.

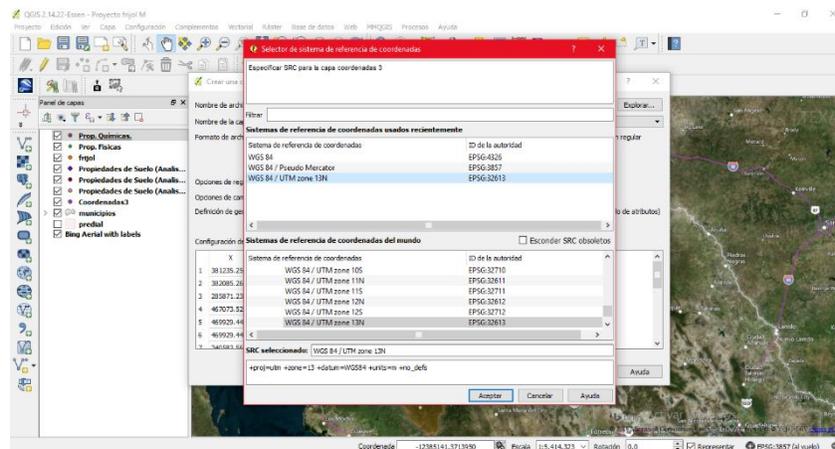


Figura 3.9. Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC).

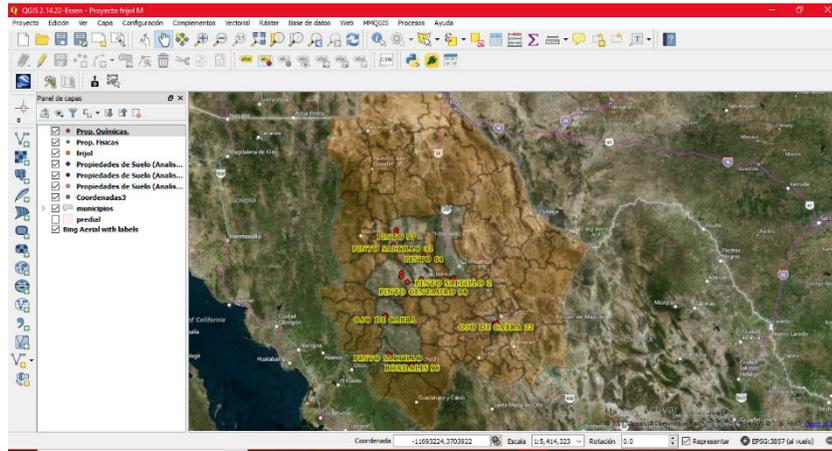


Figura 3.10. Capas de Información.

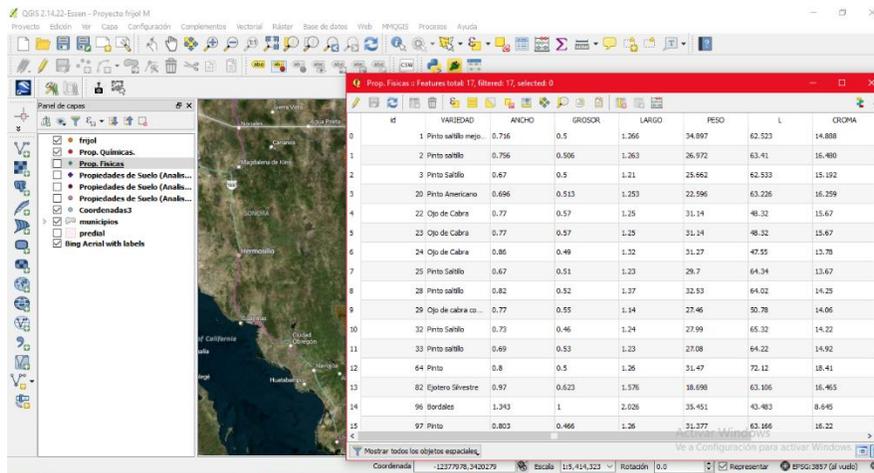


Figura 3.11. Tabla de atributos.

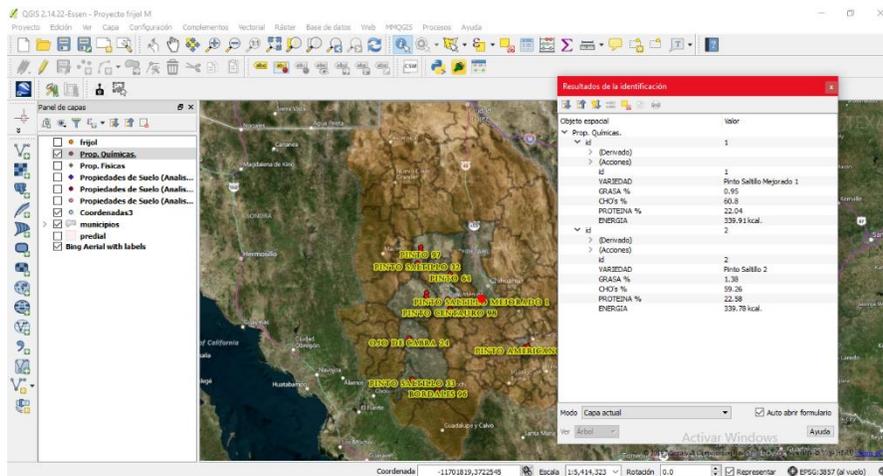


Figura 3.12. Tabla de atributos automática.

3.14. Calidad del mapa de prescripción

Para dotar de mayor de mayor calidad la representación utilizamos, como cartografía de base, el recurso *Bing Aerial With Labels* del plugin OpenLayers. Donde podemos tener una mejor visión del predio donde las muestras fueron cosechadas como se muestra en el área de resultados de dicho estudio.

3.15. Análisis de suelo

Las muestras de suelo se trasladaron al laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Foliar, de la Facultad de Ciencias Agro tecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua; fueron secadas al aire y a la sombra, se tamizaron a través de tamices de malla No. 5, 10 y 20. Una vez que el suelo se tamizó, por cada huerto y separando las condiciones (S) y (E), orientaciones (SM) y (SL), y profundidades de muestreo 0-30 cm y 30-60 cm por cada huerto, se procedió a conformar muestras compuestas, reduciendo su número a 272 muestras compuestas sobre la base de coloración del mismo, siempre y cuándo se conservara dentro del criterio de muestreo (condición nutricional, lado y profundidad), aunado a que se tuvieran dentro de lo posible en mismo número de muestras por huerto, para una ponderación más homogénea al realizar las comparaciones entre ellos, y poder efectuar la prueba estadística de comparaciones de medias pareadas.

Las muestras compuestas se almacenaron en botes de plástico de un litro, debidamente etiquetados, las determinaciones en laboratorio se agruparon en cuatro categorías (propiedades) con sus respectivos parámetros.

3.15.1. Propiedades Básicas

Contenido de materia orgánica (M.O.), contenido de carbonatos de calcio (CaCO_3), textura (Textura, clasificación textural en base al contenido de arcilla, limo y arena, pH en CaCl_2 0.01M (pH CaCl_2); 2).

3.15.2. Propiedades de Salinidad

Por ciento de saturación (% Saturación.), pH en pasta saturada (pH P. Sat.), conductividad eléctrica (C.E.) y porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.).

3.16. Propiedades de Fertilidad

3.16.1. Macronutrientes

Nitratos (NO_3), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg).

3.16.2. Micronutrientes

Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu).

3.17. Propiedades Físicas

Conductividad hidráulica (Cond. Hidr.), densidad aparente (D.A.), espacio poroso (E. Poroso) y estabilidad de agregados (E.A.). A partir de la determinación de macronutrientes se obtuvieron las relaciones de cationes Ca/Mg, K/Mg, (Ca+Mg)/K, Ca/(K+Mg) y Mg/(K+Ca) expresadas en miliequivalentes por gramo.

3.18. Determinación de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo

3.18.1 Propiedades básicas

3.18.1.1. Materia orgánica (Walkley y Black)

Se pesan 0.5 g de muestra de suelo y se colocan en matraces Earlen Meyer de 500 ml, se añaden 2.5 ml de dicromato de potasio al 5% y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y se dejan reposar por 30 minutos, simultáneamente se preparan dos testigos (blancos) sin suelo; transcurrido el tiempo de reposo, se añaden 100 ml de agua desionizada y se agregan 2.5 ml de ácido fosfórico al 85%, se aplican 6 gotas de indicador difenilamina sulfonato bórico al 0.16%; a continuación, se procede a la titulación con una solución de sulfato ferroso 0.5 N, hasta obtener un vire de color azul-verdoso opaco y conforme se va titulando la solución va virando a un color azul turbio, finalmente cambia de manera brusca a un color verde brillante. Cálculos: Porcentaje de M.O. = $5 * (1 - (M / B)) * 0.5172$, donde M = ml de solución de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra B = ml de solución gastados en titulación del blanco al inicio y al final de la serie de muestras. Reactivos: Dicromato de potasio 1 N ($K_2Cr_2O_7$). Se pesa 49.04 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y se

disuelven en un litro de agua. Difenilamina (sulfonato Barico) 0.16%. Se pesan 0.16 g de difenilamina y se disuelve en 100 ml de agua caliente. Sulfato Ferroso 0.5 N. Se pesan 139 g de ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y se disuelve en 100 ml de agua y se le agrega 15 ml de H_2SO_4 concentrado y se deja enfriar la solución y se afora a un litro.

3.18.1.2. Carbonatos de calcio (manómetro de terminal abierta, eudiómetro o calcímetro)

Se agrega una gota de HCl 4 N a la muestra del suelo, previamente tamizada por la malla No. 20; dependiendo de la efervescencia a la reacción que se produce, se pesa 0.1 g en matraces Earlen Meyer de 125 ml, si es fuerte la efervescencia se pesan 0.1g, si es débil o nula efervescencia, se pesa 1 g y si es media 0.5 g, se introduce un tubo vial, con 5 ml de HCl 4 N dentro del matraz Earlen Meyer, se debe tener cuidado de no derramar el ácido sobre la muestra de suelo contenida en el matraz, se tapa el matraz con un tapón del eudiómetro, se toma la primer lectura en el calcímetro, igualando los niveles de los líquidos que contiene el eudiómetro sin derramar el ácido, se agita el matraz para que el ácido se vierta sobre la muestra del suelo tomando nuevamente la lectura e igualando los niveles de líquido del eudiómetro, dándonos las lecturas de liberación de CO_2 , a continuación se registra la temperatura del matraz con el termómetro que está en el tapón del eudiómetro y se anotan los datos obtenidos. Soluciones: Ácido clorhídrico 4 N. Se disuelven 356 ml de ácido clorhídrico en un litro de agua.

3.18.1.3. Textura (Densímetro de Bouyoucos)

Se pesan 50 g de suelo (malla No. 20) y se colocan en vasos de precipitados de 250 ml, se agregan 100 ml de galgón dejándolo reposar por un día. Después, se coloca la muestra en la copa del agitador eléctrico y se agita por cinco minutos, a continuación, el contenido se transfiere cuantitativamente por medio de una pizeta a la probeta aforada hasta 1000 ml con agua común y corriente. La probeta se tapa con una pelota de esponja y se le dan aproximadamente 12 vueltas de campana colocando la probeta en la mesa, una vez ahí, no debe de moverse. Se registra la hora exacta y se coloca el hidrómetro de Bouyoucos dentro de la probeta, a los 40 segundos se realiza la primera lectura y se registra la temperatura con un termómetro previamente calibrado, realizándose la cuantificación de las arenas. Se saca el hidrómetro dejando reposar la suspensión por 6 horas 30 minutos para determinar que arcillas coloidales se presentaron durante ese tiempo de reposo, se registra también la temperatura.

Cálculos: % de Arena = $(\text{Lectura corregida del hidrómetro a los 40 segundos} * 2) - 100$

% de Limo = $(\% \text{ de Arena} + \% \text{ de Arcilla} - 100)$.

% de Arcilla = $\text{Lectura corregida a las 6 horas y media} * 2$.

Con los datos obtenidos se determina la clasificación de las texturas utilizando para ello el triángulo de texturas propuesto por Uvalle-Bueno (1993), adecuado por grupos de textura por Flores-Plascencia (2007).

Reactivos: Galgón. Se pesan 40 g de hexametáfosfato de sodio y 10 g de carbonato de sodio y se disuelven en un litro de agua desionizada.

3.18.1.4. pH del suelo en CaCl_2

Se pesan 10 g de suelo y se colocan en vasos de precipitados de 50 ml, se agregan 25 ml de CaCl_2 0.01 M 1:2.5, dejándolos reposar por 15 minutos, se agitan las suspensiones a 220 rpm durante 10 minutos. Se dejan reposar de nuevo por 30 minutos, antes de tomar la lectura en el potenciómetro que se calibra previamente con dos soluciones buffer de pH 4 y 7, respectivamente; una vez calibrado se lee en el potenciómetro sin agitar la suspensión en equilibrio y dejando cubierto el electrodo por la solución.

Reactivos: Cloruro de Calcio 0.01 M (CaCl_2). Se disuelven 1.10 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en agua y se afora a un litro; el pH se ajusta entre 5.0 y 6.5 con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o con HCl.

3.19. Propiedades de Salinidad

3.19.1. Porcentaje de saturación y pH en pasta saturada

Se pesan 200 g de suelo y se colocan en botes de plástico, se saturan con agua desionizada, utilizando una probeta graduada de 100 ml tomando en cuenta la cantidad de agua que se gasta en la saturación de la misma y con una espátula mediana se mezclan y se deshacen los grumos hasta obtener una pasta tipo betún.

En este estado se toma el pH, introduciendo el electrodo directo en la pasta, se toma la lectura en el potenciómetro que previamente se calibró con dos soluciones buffer de pH 4 y 7, respectivamente. El por ciento de saturación se estima de la siguiente manera: Por ciento de saturación = (ml de agua gastada) / 2.

3.19.2. Conductividad eléctrica (solu-bridge)

Se pesan 200 g de suelo en un depósito de plástico y se les agrega agua desionizada, agitando con una espátula, dando golpes suaves al recipiente con el fin de que se consolide hasta que la muestra de suelo tomare una coloración brillante inclinando el recipiente y tomando la pasta con la espátula, si resbala suavemente, indica que se completó la saturación, dejando reposar por 12 horas; después, la pasta se coloca en los embudos Buchner con papel filtro y se aplica vacío, el extracto se recibe en tubos de ensaye y posteriormente se realiza la lectura en el conductímetro, expresándola en mmhos por cm².

3.19.3. Por ciento de sodio intercambiable

Del extracto de saturación se toma 1 ml y se coloca en matraces volumétricos de 50 ml y se aforan, para después vaciarse en tubos de ensaye, se sellan con parafilm, las lecturas se registran en el espectrofotómetro de absorción atómica, el resultado se expresa en meq/l.

3.20. Propiedades de Fertilidad

3.20.1. Contenido de nitratos (brucina y colorimetría)

Se pesan 3 g de suelo y se depositan en vasos de precipitados, se añaden 5 ml por gramo de muestra de solución Morgan (60.9149 g de acetato de sodio anhidro en 500 ml de agua desionizada, se agregan 30 ml de ácido acético glacial al 99.5 % y se afora a 1000 ml, ajustando el pH con ácido acético glacial o hidróxido de sodio 0.25 N), colocándolos en un agitador mecánico orbital por 30 minutos y entonces se dejan reposar, para enseguida filtrar; simultáneamente, se prepara un blanco para lo cual se toma una alícuota de 5 ml y se vierte en el vaso de precipitados, se le agregan 0.4 ml de brucina al 4%, y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado más 10 ml de agua desionizada. Al finalizar debe acentuarse un color amarillo, agitando en forma constante y se procede a leer en el colorímetro a 425 nm de absorbancia.

Reactivos: Solución Extractora Morgan (Acetato de Sodio). En 500 ml de agua se disuelven 100 g de acetato de sodio anhidro ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) o 60.9149 g de acetato de sodio anhidro (CH_3COONa) y 30 ml de ácido acético glacial (99.5%) y se afora a un litro de agua; se ajusta el pH a 4.8 con ácido acético glacial o con NaOH 0.25 N. Brucina 4 %. Se pesan 4 g de brucina y se disuelven en 100 ml de ácido acético glacial al 99.5%.

3.20.2. Fósforo asimilable (Olsen)

Cuando el pH es alcalino (> 7.00), se pesan 0.5 g de suelo, se les añade 0.15 g de carbón activado, más 25 ml de solución de Morgan, enseguida se agita por espacio de 30 minutos y posteriormente se filtran, se toman 10 ml y se colocan en un matraz volumétrico de 50 ml, se agregan 4 ml de molibdato de amonio, más 2 ml de ácido amino naftol sulfónico y se afora a 50 ml, se deja reposar por 10 minutos y se lee en el colorímetro a 660 nm de transmitancia. Cálculos: ppm= Valor de transmitancia en curva estándar * 2.5.

Reactivos: Solución Extractora Morgan (Acetato de Sodio). En 500 ml de agua se disuelven 100 g de acetato de sodio anhidro ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) o 60.9149 g de acetato de sodio anhidro (CH_3COONa) y 30 ml de ácido acético glacial (99.5%) y se afora a un litro de agua; se ajusta el pH a 4.8 con ácido acético glacial o con NaOH 0.25 N.

Molibdato de Amonio. Se pesan 25 g de molibdato de amonio y se diluyen en 172.60 ml de ácido sulfúrico concentrado. Amino Naftol Sulfónico. Se pesan 71.30 g de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) más 5 g de sulfito de sodio (Na_2SO_3) y 1 g de ácido aminonaftolsulfónico y se afora a 500 ml de agua.

3.20.3. Fósforo asimilable (Bray P1)

Cuando el pH es ácido (< 7.00), se pesan 3 g de suelo y se colocan en tubos de ensaye con rosca, a continuación se les agrega 21 ml de solución Bray-P1, se tapan y se agitan durante un minuto, entonces, se filtran en vasos de precipitados

de 250 ml; del filtrado, se toman 3 ml y se vacían a tubos de ensaye con rosca, enseguida se agregan 4 ml de Bray-P1, después 2 ml de molibdato de amonio y por último 1 ml de cloruro estañoso (previamente preparado con 0.1 ml de cloruro estañoso concentrado en 33 ml de agua), se tapan los tubos y se agitan, se lee en el colorímetro a 660 nm en absorbancia; simultáneamente, se hace un blanco con 7 ml de Bray-P1, 2 ml de molibdato de amonio y 1 ml de cloruro estañoso, se ajusta el colorímetro a ceros con el blanco y se procede a la lectura. Reactivos: Solución Bray-P1. Se toman 50 ml de ácido clorhídrico 0.5 N (41.75 ml de HCl en un litro de agua) más 30 ml de fluoruro de amonio y se afora a un litro. Molibdato de Amonio. Se pesaron 25 g de molibdato de amonio y de diluyen en 172.60 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Cloruro Estañoso (Solución Madre). Se pesan 10 g de cloruro estañoso más 25 ml de ácido clorhídrico y se disuelve en baño María, y se coloca en un frasco color ámbar, se conserva por seis semanas (si la solución presenta un precipitado nebuloso, hay que filtrarla). Cloruro estañoso (Solución de Trabajo). Se coloca 0.1 ml de cloruro estañoso (Solución Madre) en 33 ml de agua, se prepara en el momento de utilizar (el excedente se elimina).

3.20.4. Potasio, calcio, magnesio y sodio (espectrofotometría de absorción atómica)

Se toma 1 g de suelo pasado por malla 10 y se coloca en vasos de precipitados, se le agrega 25 ml de acetato de amonio y se agita vigorosamente

durante 1 minuto dejándolo reposar por 12 horas, se filtra y se colocan 2 ml en matraces volumétricos de 100 ml y se afora, se toman las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica, el resultado se expresa en partes por millón (ppm). Reactivos: Acetato de Amonio pH 7.0 1 N. En un matraz de un litro se colocan 57.33 ml de ácido acético más 61 ml de hidróxido de amonio se afora, y se ajusta el pH, el resultado se expresa en ppm. Cálculos: K, Ca, Mg y Na en ppm = Lectura del aparato * 1250.

3.20.5. Micronutrientes (Cu, Fe, Mn, y Zn, en DTPA y espectrofotometría de absorción atómica)

Se pesan 10 g de suelo y se depositan en matraces de 250 ml, se les agrega 20 ml de la solución extractora de ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) para obtener la relación 1:2, se tapan en forma hermética con tapones especiales y se colocan en un agitador mecánico orbital durante 2 horas a una velocidad de 120 r.p.m., se filtran y se depositan en envases especiales, posteriormente, se analizan Cu, Fe Mn y Zn mediante espectrofotometría de absorción atómica empleando para ello los estándares adecuados, el resultado se expresa en ppm. Cálculos: Cu, Fe, Mn y Zn en ppm = Lectura del aparato * 2.

Reactivos: Solución de ácido dietilentriaminopentacético (DTPA). Se pesan 4.41 g de cloruro de calcio más 39.9 ml de trietanolamina y 5.901 g de DTPA, se disuelven en agua y se afora a 3 litros, se ajusta el pH a 7.3 con HCL 4 N.

3.21. Propiedades físicas

3.21.1. Conductividad hidráulica (método del permeámetro de carga hidráulica corriente)

Para determinar conductividad hidráulica en muestras de suelo alteradas, se colocan en tubos de conductividad hidráulica (longitud de 20 cm y diámetro de 3.5 cm) montados en una base adecuada; se coloca papel filtro en la base del tubo, enseguida se adicionan 2.5 cm de arena, posteriormente 10 cm de suelo evitando que se compacte, se le agrega agua manteniendo un nivel constante de 2.5 cm por encima del suelo, se registra el tiempo en cuanto empieza a gotear y se le sigue aplicando agua corriente durante un hora. Una vez transcurrido el tiempo, se remueven los tubos conforme se cumple la hora de goteo, se mide el volumen drenado por el tubo para determinar el gasto de agua. Cálculos: Conductividad Hidráulica ($\text{cm}^3/\text{día}$) = ml gastados por hora / 14.3625.

3.21.2. Densidad del suelo

Se pesa una probeta graduada sin muestra y se registra su valor (PPrV); se le agregan unos cuantos milímetros de suelo malla 10, para que se compacten suavemente, golpeando ligeramente la probeta sobre una superficie acartonada, se ajusta finalmente el volumen a 100 ml; posteriormente, se pesa la probeta llena (PPr + S). Enseguida, se pesa un bote de aluminio vacío, quedando listo para vaciar suelo húmedo (PBV), se coloca la mitad del suelo del contenido total de la probeta y se pesa de nuevo (PB + S), se coloca el bote con el suelo en la estufa para secado

durante 2 horas a 120° C y se pesa nuevamente (PBSS). Se utiliza la otra mitad (50%) del suelo restante en la probeta para determinar la densidad real; en otras probetas graduadas de 100 ml, se agregan 50 ml de agua corriente. Se hace en forma lenta vaciando en éstas el sobrante del suelo de la determinación de la densidad aparente, se agita por un período de un minuto con 5 minutos de reposo, se anota el volumen final de la mezcla de agua y suelo.

Cálculos: $PPr+S - PPrV = \text{Peso del suelo compactado}$

$PB+S - PBV = \text{peso del 50\% de suelo}$

$PB+SS - PBV = \text{peso del suelo total}$

$PSST * 100 / \text{peso del 50\% de suelo total}$

Lectura del Volumen Final LVF – 50 ml de agua = Volumen desplazado.

Densidad Aparente: $DA = a / d = PSC / PSST$

Densidad Real: $DR = c/e = PSST / \text{Volumen Desplazado.}$

3.21.3. Porcentaje de espacio poroso

Se determina como Por ciento de Espacio Poroso = $((da / dr) * 100) - 100$.

La porosidad varía con la textura. La forma de las partículas individuales, la estructura, la cantidad de materia orgánica y la solidez: arena poros muy grandes, espacio poroso pequeño; arcilla poros chicos espacio poroso elevado.

3.21.4. Estabilidad de agregados

Se selecciona un terrón por muestra, de aproximadamente una o dos pulgadas de diámetro y se coloca bajo una pipeta Pasteur hidrológica, a una distancia de dos pulgadas aproximadamente, sobre una malla de mosquitero y se la agregan 200 ml de agua durante un minuto para destruir el terrón.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Sistema de Información Geográfica

En la Figura 4.1 se muestran los diferentes puntos geográficos de los predios donde fueron tomadas las muestras de las diferentes variedades de frijol utilizadas para el presente estudio, lo cual determina que es la zona noroeste del estado donde hay mayor producción.

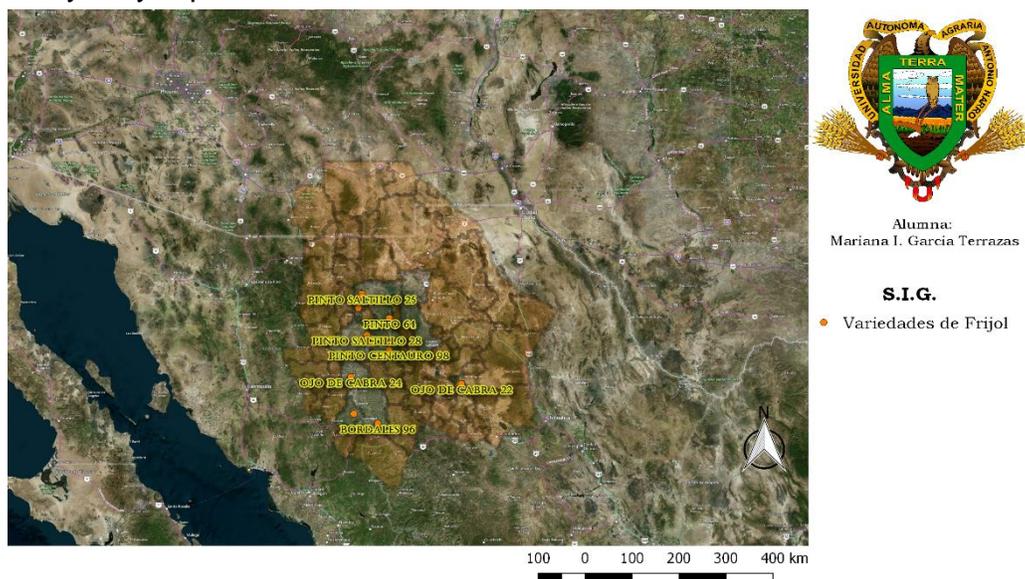


Figura 4.1. Puntos geográficos de las variedades de frijol en el estado de Chihuahua.

4.2. Principales zonas productoras de frijol y tipo de suelo del estado de Chihuahua

Mediante las coordenadas que fueron obtenidas, el sistema de información geográfica mostró que las principales zonas productoras de frijol son: El charco, Guerrero, San Fco. De Conchos, Guachochi, Namiquipa, Batopilas, Cusiguriachi, Bocoyna, Cuauhtémoc, San Juanito, todos estos municipios del estado de Chihuahua (Cuadro 4.1). De la Figura 4.2 a la 4.18 se muestran los predios en los

cuales fueron cosechadas las diferentes variedades de frijol. Las imágenes fueron extraídas del SIG por medio de *Bing Aerial with labels 2019*.

Estas regiones productoras de frijol se caracterizan por tener suelos de categoría migajón arcilloso, con pH ácido, conductividad eléctrica adecuada según Doorenbos y Kassan (1979) y en su mayoría ricos en Materia Orgánica los cuales presentan las condiciones óptimas para la producción de frijol de acuerdo a los rangos establecidos (pH 6.5 a 7.5; MO \geq 1.5) por la SAGARPA (2017), dichos parámetros se encuentran en el apartado de anexos.

Cuadro 4.1. Información general de las variedades cosechadas.

#	Variedad	Productor	Localidad	Longitud	Latitud
1	Pinto Saltillo Mejorado	Manuel Mojica	El Charco	106°12'45.72	28°25'45.00"
2	Pinto Saltillo	Bernardo Duarte	El Charco	106° 12'13.32"	28° 24' 03.11"
3	Pinto Saltillo	Ramon Hdz.	Rancho Santiago	107° 11'01.00"	28° 21' 04.00"
20	Pinto Americano	Olegario Glz.	SF Conchos	99° 20' 00.93"	27° 34' 40.45"
22	Ojo de Cabra	Olegario Glz.	SF Conchos	99° 18' 16.83"	27° 35' 04.64"
23	Ojo de Cabra	Olegario Glz.	SF Conchos	99° 18' 16.83"	27° 35' 04.64"
24	Ojo de cabra	Gustavo Daher	Guachochi	107° 37'51.77"	27° 43' 0.47"
25	Pinto Saltiilo	Aron Almeida	Armera, Namiquipa	107° 24'18.40"	29° 18' 18.80"
28	Pinto Saltillo	Cesar Garcia	Ejido Saenz, Gro.	107° 17'50.23"	28° 31' 17.79"
29	Ojo de Cabra Combinado	Oscar Ponce	La Tena Gro.	107° 18'26.52"	28° 27' 7.12"
32	Pinto Saltillo	Jose Ma. Mtz.	Sotomaynez, Nam.	107°28'42.71"	29° 02' 17.04"
33	Pinto Saltillo	Enrique Chavez	Buenavista, Batopilas	107°34'29.06"	27° 0' 23.8"

64	Pinto	Diana Anchondo	Col. Nvo. Horizonte	106° 49'33.99"	28° 50' 33"
82	Ejotero Silvestre	Conrado Schz.	Cuauhtémoc, Chih.	106° 52'44.31"	28° 24' 20.99"
96	Bordales	Diana Niño	Guachochi, Chih.	106° 53'16.63"	28° 24' 12.07"
97	Pinto	Jesus Jimenez	Namiquipa, Chih.	107° 4' 30.46"	26° 49' 8.58"
98	Pinto	Willy	Cusiguriachic, Chih.	107° 24'19.81"	29° 15' 3.30"
	Centauro	Ordoñez			



Figura 4.2. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #1 Pinto Saltillo Mejorado.

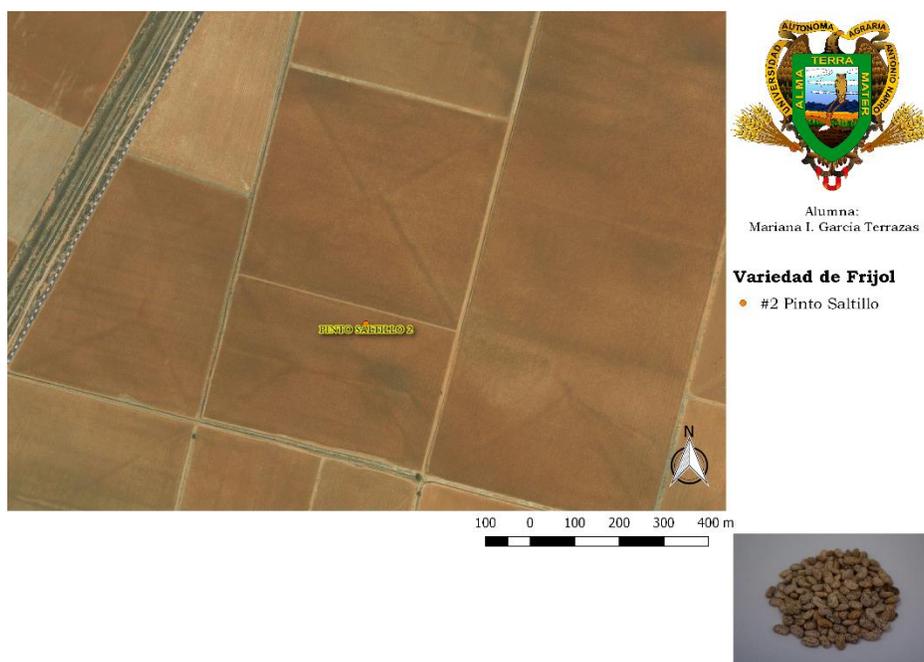


Figura 4.3. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #2 Pinto Saltillo.



Figura 4.4. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #3 Pinto Saltillo.



Figura 4.5. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #20 Pinto Americano.



Figura 4.6. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #22 Ojo de Cabra.



Figura 4.7. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #23 Ojo de Cabra.

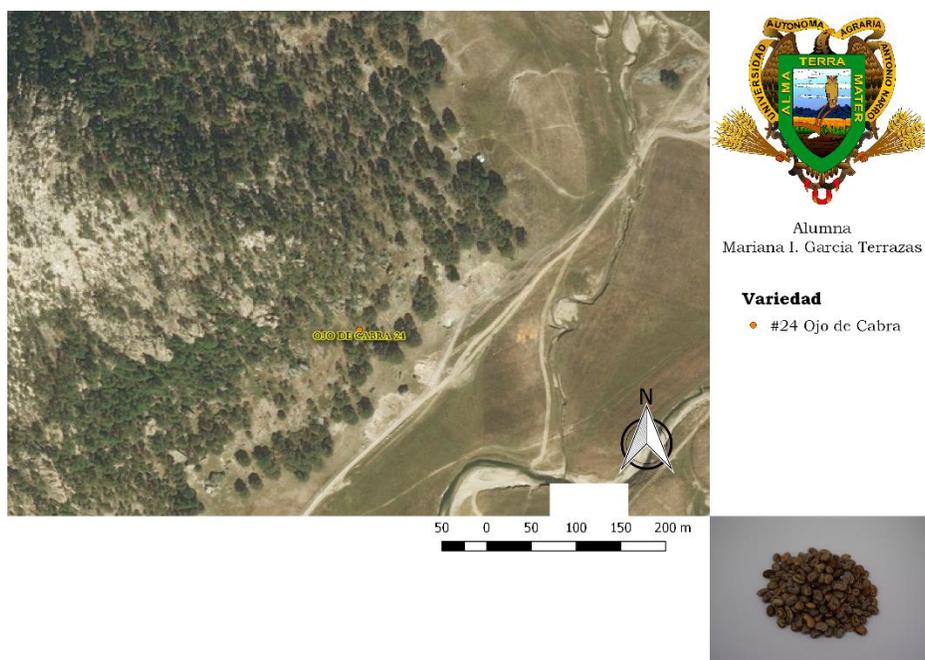


Figura 4.8. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #24 Ojo de Cabra.



Figura 4.9. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #25 Pinto Saltillo.

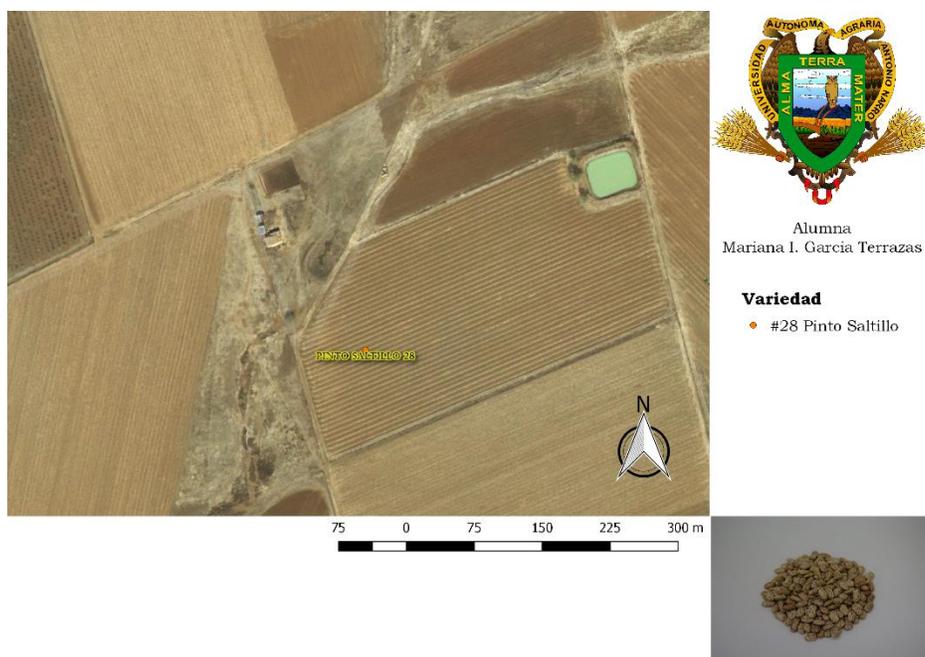


Figura 4.10. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #28 Pinto Saltillo.



Figura 4.11. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #29 Ojo de Cabra Combinado.

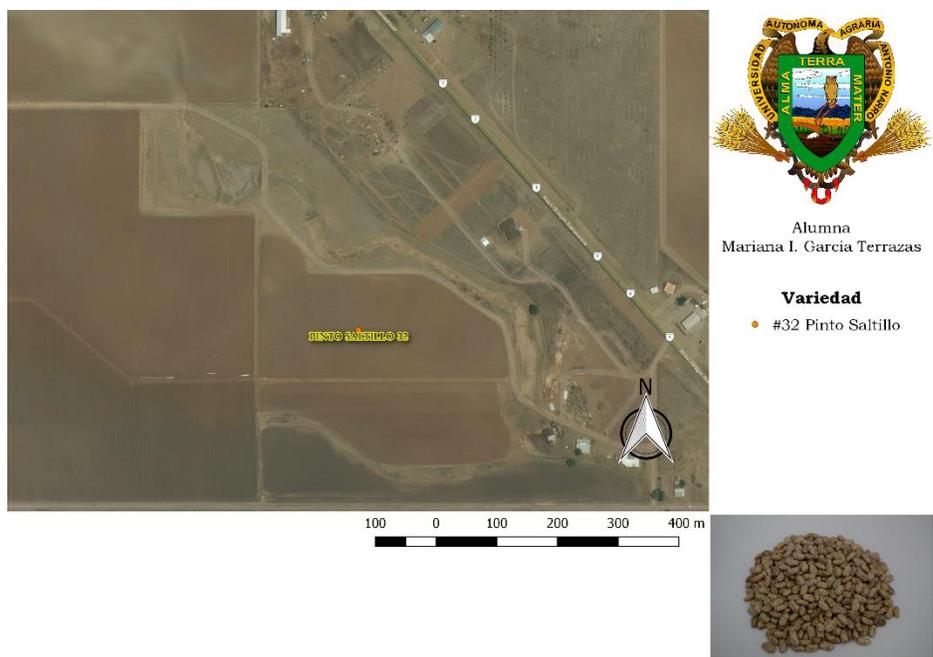


Figura 4.12. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #32 Pinto Saltillo.

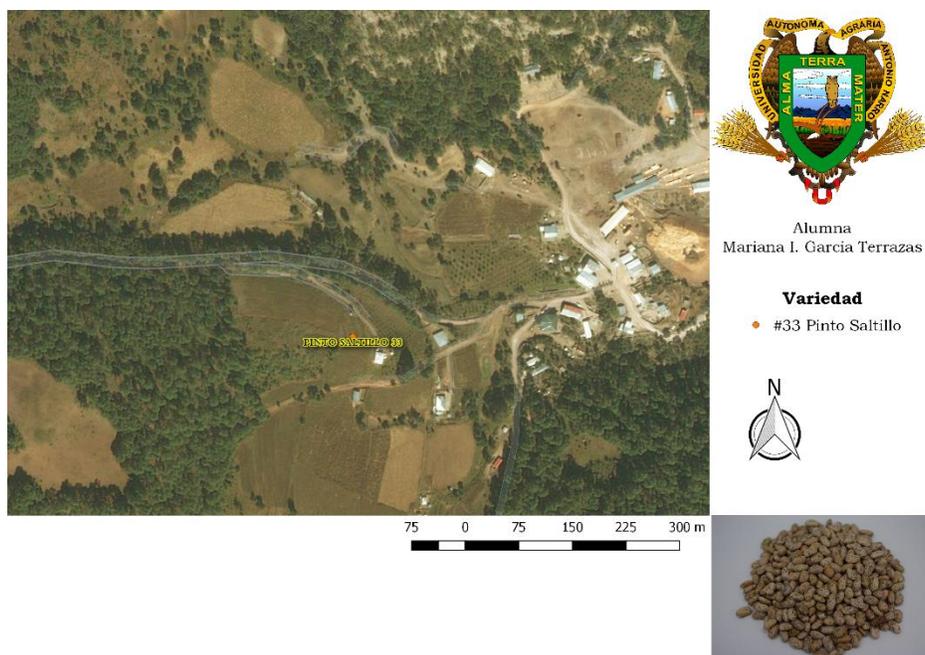


Figura 4.13. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #33 Pinto Saltillo.



Figura 4.14. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #64 Pinto.



Alumna
Mariana I. Garcia Terrazas

Variedad

- #82 Ejotero Silvestre



Figura 4.15. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #82 Ejotero Silvestre.



Alumna
Mariana I. Garcia Terrazas

Variedad

- #96 Bordales



Figura 4.16. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #96 Bordales.

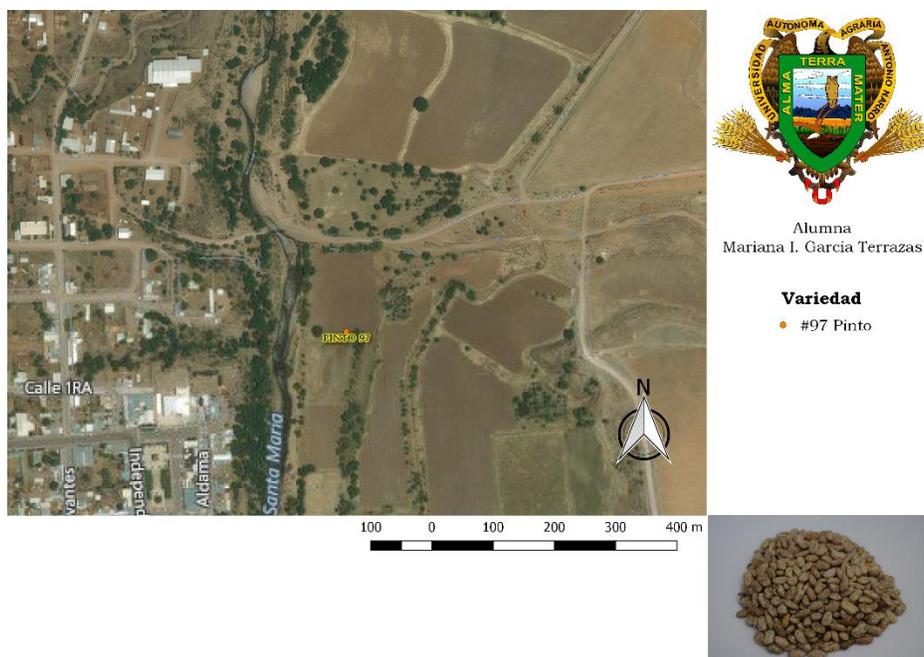


Figura 4.17. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #97 Pinto.

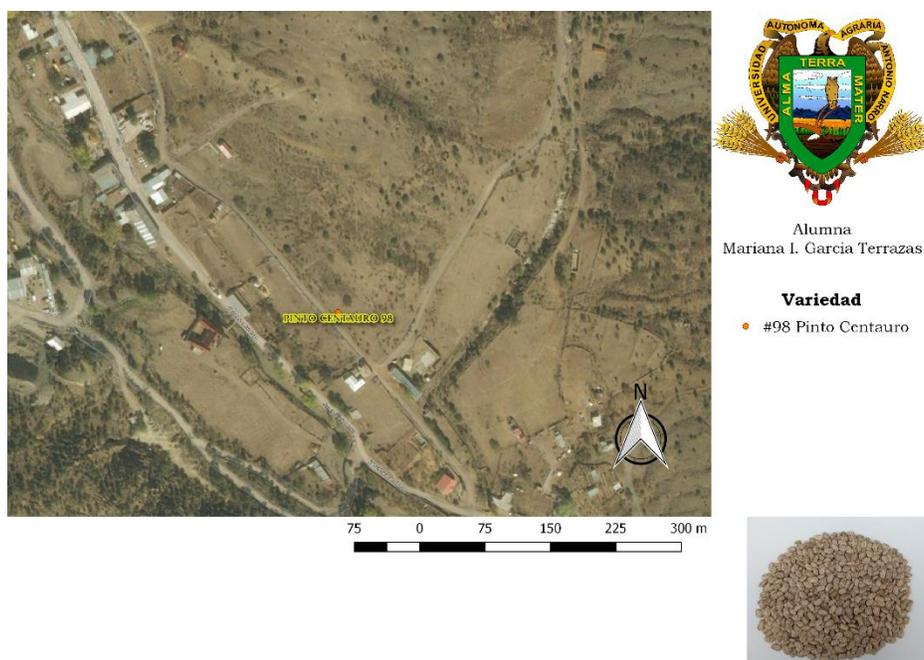


Figura 4.18. Imagen del predio donde se cultivó la variedad #98 Pinto Centauro.

4.3. Análisis de parámetros físicos

Los resultados obtenidos durante el análisis físico de las variedades recolectadas de frijol en el estado de Chihuahua mostraron diferencias significativas. Los valores se observan en el Cuadro 4.2, los cuales indican que la variedad Bordales fue la que presentó mayor anchura y grosor de la semilla, superando en un 100% en el ancho a la variedad Pinto Saltillo #3 y Pinto Saltillo #25 las cuales presentaron los valores más bajos, en cuanto al grosor superó en un 117.3% a la variedad Pinto Saltillo #32 la cual presentó el valor más bajo. Vargas *et al.* (2003), encontraron que el frijol tiene 0.66 cm de ancho en promedio y 0.34 cm de grosor, mientras los resultados obtenidos en esta investigación fueron superiores.

Respecto a los valores de largo y peso, también se encontraron diferencias significativas, siendo la variedad Bordales la más sobresaliente con 2.03 cm y 35.45 g/100 semillas respectivamente. Morales-Santos *et al.* (2017), encontraron valores promedio de 0.86 cm de largo siendo inferiores a los que se presentan en esta investigación. Aguilar-Benítez *et al.* (2019), obtuvieron valores sobre el peso en g/100 semillas de 29.70 el cual sigue siendo inferior a los obtenidos en esta investigación.

En cuanto al color la variedad con mayor luminosidad fue Pinto #64, el color es otro parámetro importante que no solo define la variedad de frijol sino otras funciones. Romano *et al.* (2010) afirma que semillas con testa de color están mejor protegidas contra patógenos que cuando muestran color albino o blanco. El color de

la testa también podría indicar una buena actividad antioxidante como ocurre para otras variedades (Pérez-Herrera *et al.*, 2002; Iniestra-González *et al.*, 2005).

Cuadro 4.2. Valores de propiedades físicas de color del grano de diferentes variedades de frijol.

#	Variedad	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g)	L	Croma	Hue
1	Pinto Saltillo Mejorado	0.72	0.50	1.27	34.90	62.52	14.89	1.23
2	Pinto Saltillo	0.76	0.51	1.26	26.97	63.41	16.48	1.21
3	Pinto Saltillo	0.67	0.50	1.21	25.66	62.53	15.19	1.24
20	Pinto Americano	0.70	0.51	1.25	22.60	63.23	16.26	1.17
22	Ojo de Cabra	0.77	0.57	1.25	31.14	48.32	16.67	1.10
23	Ojo de Cabra	0.77	0.57	1.25	31.14	48.32	16.67	1.10
24	Ojo de cabra	0.86	0.49	1.32	31.27	47.55	13.78	1.08
25	Pinto Saltillo	0.67	0.51	1.23	29.70	64.34	13.67	1.18
28	Pinto Saltillo	0.82	0.52	1.37	32.53	64.02	14.25	1.22
29	Ojo de Cabra Conbinado	0.77	0.55	1.14	27.46	50.78	14.06	1.11
32	Pinto Saltillo	0.73	0.46	1.24	27.99	64.32	14.22	1.20
33	Pinto Saltillo	0.69	0.53	1.23	27.08	64.22	14.92	1.25

64	Pinto	0.80	0.50	1.26	31.47	72.12	18.41	1.22
82	Ejotero Silvestre	0.97	0.62	1.58	18.70	63.11	16.46	1.05
96	Bordales	1.34	1	2.03	35.45	43.48	8.64	0.51
97	Pinto	0.80	0.47	1.26	31.38	63.17	16.22	1.19
98	Pinto Centauro	0.84	0.47	1.28	16.84	66.15	16.54	1.24

4.4. Analisis de parametros quimicos

En el Cuadro 4.3 se presentan los resultados obtenidos en los cuales se determinó la calidad de las diferentes variedades. En el contenido de grasa la variedad que presento mayor concentración fue la Ojo de Cabra #29 con 1.98%, la cual supero en un 253.5% a la Ojo de Cabra #23 que fue la que presento menor concentración. Por otra parte, los resultados obtenidos en la proteína de frijol, indican que la variedad con máxima concentración es Ejotero Silvestre #82, superando en un 67.6% a la Pinto #97 que fue la de más baja concentración. Mahajan *et al.* (2015) estudiaron el contenido de proteína en 51 variedades de frijol, encontrando que la máxima concentración fue de 31.6%. En este estudio, se encontraron concentraciones inferiores a las obtenidas por el autor antes mencionado.

Con respecto a la energía contenida, los valores van de 326.62 Kcal a 339.91 Kcal, siendo la variedad Pinto Saltillo #1 la que contiene mayor cantidad en relación a la Pinto Centauro #98 que presento la menor cantidad de energía. Estos datos

concuerdan con Adsule *et al.* (2004) quien menciona que a esta leguminosa se le atribuyen propiedades nutraceuticas, por presentar un bajo contenido calórico, que puede ayudar a reducir problemas como el sobrepeso y la obesidad.

Cuadro 4.3. Valores de propiedades quimicas del grano de diferentes variedades de frijol.

#	Variedad	Grasa%	CHO's%	Proteina%	Energia
1	Pinto Saltillo Mejorado	0.95	60.80	22.04	339.91 kcal.
2	Pinto Saltillo	1.38	59.26	22.58	339.78 kcal.
3	Pinto Saltillo	1.76	60.11	18.99	332.24 kcal.
20	Pinto Americano	0.78	52.46	25.72	319.74 kcal.
22	Ojo de Cabra	0.79	56.76	26.26	339.19 kcal.
23	Ojo de Cabra	0.56	57.41	24.86	334.12 kcal.
24	Ojo de cabra	0.91	60.38	21.39	335.27 kcal.
25	Pinto Saltillo	1.29	64.03	18.53	341.85 kcal.
28	Pinto Saltillo	1.25	60.69	21.26	339.05 kcal

29	Ojo de Cabra Conbinado	1.98	61.77	19.91	344.54 kcal
32	Pinto Saltillo	0.88	63.34	19.52	339.36 kcal.
33	Pinto Saltillo	1.17	63.03	19.55	340.85 kcal.
64	Pinto	2.33	62.00	20.19	349.77 kcal.
82	Ejotero Silvestre	1.54	52.62	29.79	343.50 kcal
96	Bordales	1.74	53.85	27.37	340.54 kcal.
97	Pinto	1.23	62.84	17.77	333.51 kcal
98	Pinto Centauro	1.22	61.04	17.87	326.62 kcal.

4.5. Análisis Nutricional

4.5.1. Macronutrientes

En el Cuadro 4.4 se presentan los resultados obtenidos en los cuales se determino el contenido de macronutrientes de las diferentes variedades las cuales muestran diferencias significativas. Las concentraciones maximas en Magnesio, Calcio y Potasio fueron las variedades Pinto Saltillo #3 con 0.20%, Pinto #97 con 0.28% y Ojo de Cabra #23 con 1.72% respectivamente. Mientras que las concentraciones minimas obtenidas fueron Ejotero Silvestre #82 con 0.10%, Pinto Saltillo #2 con 0.09% y Pinto Americano #20 con 1.14 respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio, fueron superiores a los reportados por

Velasco-González *et al.* (2013) ya que las concentraciones máximas en cada uno de los nutrientes fueron 0.17 %, 0.02%, 0.00% y 1.29% respectivamente. Se considera que estas diferencias de valores en macronutrientes se deben a la variedad genética, condiciones agroclimáticas donde fueron cultivadas y al manejo del cultivo (Fernandez-Valenciano & Sanchez-Chavez,2017).

Cuadro 4.4. Concentración de macronutrientes de las distintas variedades de frijol.

Macronutrientes %					
#	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
1	2.56	0.15	1.27	0.16	0.14
2	3.03	0.15	1.18	0.15	0.09
3	2.50	0.41	1.36	0.20	0.15
20	2.93	0.14	1.14	0.13	0.18
22	3.53	0.10	1.24	0.17	0.21
23	3.56	0.22	1.72	0.20	0.25
24	2.79	0.18	1.41	0.14	0.13
25	2.33	0.02	1.29	0.15	0.19
28	2.73	0.15	1.42	0.16	0.18
29	2.69	0.05	1.29	0.13	0.15
32	3.22	0.13	1.35	0.16	0.16
33	2.82	0.03	1.24	0.18	0.15
64	2.75	0.15	1.29	0.18	0.14
82	5.04	0.18	1.52	0.10	0.20
96	3.41	0.20	1.54	0.11	0.13
97	3.18	0.15	1.53	0.18	0.28
98	2.79	0.10	1.46	0.18	0.17

4.5.2. Micronutrientes

En el Cuadro 4.5 se presentan los resultados obtenidos en los cuales se determino el contenido de micronutrientes de las diferentes variedades las cuales muestran diferencias significativas. Los niveles de Hierro encontrados en las variedades empleadas en este estudio, muestran que la variedad Pinto #97 presenta el maximo contenido con 103.75 ppm, superando a la variedad Pinto Americano #20 en un 222.2%, la cual presento el valor mas bajo.

Por otra parte, las concentraciones de Cobre muestran que la variedad Pinto Saltillo #3 posee la maxima concentración siendo esta de 16.84 ppm, en relación al contenido de la variedad Pinto Saltillo #2 la cual fue superada en un 238.8% representando la minima concentración.

Con respecto al Zinc la variedad Ojo de Cabra #23 obtuvo 52.12 ppm siendo esta la mayor concentración y superando a la variedad Pinto #64 en un 187.8%. Los resultados obtenidos en comparación con los que se muestran en un estudio realizado por Ojijo *et al.* (2000) indican que los niveles de Zinc, Cobre y Hierro, están por de bajo de los niveles encontrados en este estudio, siendo sus concentraciones de 0.50 ppm, 0.28 ppm y 5,38 ppm, respectivamente.

Las concentraciones encontradas de Manganeso revelan que la variedad con la máxima concentración es la Pinto Saltillo #3 con 26.14 ppm superando por 156.2% a la variedad Ejotero Silvestre #82 siendo esta la que contiene la menor concentración.

Por otro lado, las concentraciones de Níquel en frijol muestran que la variedad Pinto Saltillo #3 con 8.27 ppm es la que contiene mayor concentración,

superando en un 375.2% a la variedad Ojo de Cabra #23 la cual posee la concentración mínima.

Cuadro 4.5. Concentración de micronutrientes de las distintas variedades de frijol.

#	Micronutrientes ppm				
	Cobre	Níquel	Manganeso	Hierro	Zinc
1	6.39	3.53	16.56	50.66	18.20
2	4.97	7.10	18.52	47.64	21.20
3	16.84	8.27	26.14	53.11	19.47
20	7.20	4.59	14.26	32.20	26.21
22	9.03	4.02	13.23	34.43	34.47
23	5.14	1.74	13.37	80.57	52.12
24	5.18	3.87	14.92	41.13	21.02
25	8.85	4.66	14.43	41.07	19.56
28	9.27	5.76	13.89	36.68	18.99
29	10.65	4.80	13.92	37.03	20.18
32	11.45	5.71	16.15	46.66	29.72
33	7.38	6.37	16.80	55.77	22.93
64	8.38	3.90	16.08	48.63	18.11
82	9.93	6.17	10.20	75.15	40.47
96	6.09	7.84	14.75	51.22	36.03
97	6.33	4.48	16.89	103.75	28.09
98	5.19	4.70	15.13	35.40	27.15

Mediante la recolección de coordenadas, suelo y la realización de análisis de variables deseadas en dicho estudio, se pudo determinar las principales zonas productoras de frijol en el estado de Chihuahua, datos con los cuales se conformó un Sistema de Información Geográfica, el cual determina que la mayor producción de esta leguminosa se encuentra en la zona noroeste del estado. Dichas regiones

se caracterizan por tener suelos de categoría migajón arcilloso, con un pH ácido y conductividad eléctrica adecuada y en su mayoría ricos en Materia Orgánica los cuales presentan las condiciones óptimas para la producción de frijol de acuerdo a los rangos establecidos. En cuanto al análisis fisicoquímico y nutricional se encontraron diferencias significativas en las diferentes variedades de frijol estudiadas. La variedad sobresaliente en el análisis fisicoquímico en cuanto a Grasa fue la Ojo de Cabra #29, en Proteína la Ejotero Silvestre #82 y Energía la más destacada fue: la Pinto Saltillo #1. Referente al Análisis nutricional es importante destacar que la variedad Ojo de Cabra #23 fue la más alta en cuanto a N, P, K, y Zn. Por otro lado, la variedad Pinto #97 obtuvo los valores más alto en cuanto a Ca y Fe. Sin olvidar que en cuanto a Mg la Variedad sobresaliente fue la Pinto Saltillo #3.

V. CONCLUSIONES

1.- El Sistema de Información Geográfica desarrollado para el cultivo de frijol, indica que las regiones productoras de frijol en el Estado de Chihuahua se ubican en el Noroeste del Estado.

2.- Los suelos de estas regiones productoras por lo general son suelos profundos, con buen drenaje, con textura de migajón arcillo arenoso, con pH ligeramente ácido, con baja conductividad eléctrica, con alta capacidad de intercambio catiónico, con un contenido de materia orgánica mediana, y libre de carbonatos de calcio, con una fertilidad adecuada, las cuales presentan las condiciones óptimas para el cultivo y producción de frijol de temporal.

3.- Las condiciones edafoclimáticas de las regiones productoras estudiadas permiten cultivar y cosechar granos de frijol con alto valor nutricional, en particular con alto contenido de proteína como las variedades: Frijol silvestre #82 (29.79%), Bordales #96 (27.37%), Ojo de Cabra #22 (26.26%), Pinto Americano #20 (25.72%), Ojo de Cabra #23 (24.85%), Pinto Saltillo #2 (22.58%) y Pinto Saltillo Mejorado #1 (22.04).

4.- Además, estas variedades son sobresalientes en el contenido de micronutrientes esenciales, tal es el caso de Hierro y Zinc. En el caso de Hierro sobresalieron las variedades: Bordales #97 (103.75 ppm), Ojo de Cabra #23 (80.57 ppm) y Frijol silvestre #82 (75.15 ppm). Para el Zinc sobresalieron las variedades: Ojo de Cabra #23 (52.12 ppm), Frijol silvestre #82 (40.47 ppm), Bordales #96 (36.03 ppm), Ojo de Cabra #22 (34.47 ppm).

5.- Finalmente, se concluye que el frijol es un alimento rico en Proteína, Hierro y Zinc, lo cual representa un gran beneficio para el ser humano, pudiendo ser una alternativa para mejorar la calidad nutricional mediante un programa de biofortificación con micronutrientes.

VI. LITERATURA CITADA

- Adsule RN, Deshpande SS, Sthe SK. (2004) Tratado de Ciencias y Tecnología de las Hortalizas. Ed. Acribia, S.A México D.F. 739 p.
- Aguirre-Santos EA, Gómez-Aldapa CA. (2010). Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol *Phaseolus vulgaris* de las variedades; pinto saltillo, bayo victoria y negro San Luis. Revista Salud Pública y Nutrición. Ed. Especial, 9-2010.
- Aguirre-Santos EA, Rodríguez-Miranda J, Rosales-Serna R, Castro-Rosas J, Ochoa-Martínez LA, Valle-Cervantes S, Gómez-Aldapa CA. 2011. Determinación de tiempos de cocción de frijol común var. Pinto Saltillo utilizando dos métodos. XXXII Encuentro Nacional y I Congreso Internacional Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería (AMIDIQ). Riviera Maya, Quintana Roo. Páginas: 2812-2818.
- Amado, Xesús. La aplicación del GPS a la Arqueología. Trabajos de Prehistoria, (1997), vol. 54, no 1, p. 155-165. pdf. Consultado el: 27 de mayo de 2019. Disponible en: <http://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/384/388>
- Arnold, C. L., Clvco, D. L., Prisløe, M. P., Hurd, J. D., & Stocker, J. W. (2000). Remote-sensing-enhanced outreach education as a decision support system for local land-use officials. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(10), 1251-1260.
- Association of Official Analytical Chemist. (2000). Official Methods of Analysis (17th). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU
- Aspinall, R. (2002). A land-cover data infrastructure for measurement, modeling, and analysis of land-cover change dynamics. Photogrammetric engineering and remote sensing, 68(10).
- Benítez, G. A., Díaz, E. G. V., Rivera, R. C., Crespo, E. C., & Gálvez, R. J. (2019). Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(2), 239-251.

- Brooner, W. G. (2002). Promoting sustainable development with Geospatial technologies. [online]. In: Photogrammetric Engineering and Remote sensing, Vol. 66, No. 3 (mar). Bethesda (Maryland, USA): The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. p. 199-201. ISSN: 0099-1112
- Delgado-Andrade, C., Olías, R., Jiménez-López, J. C., & Clemente, A. (2016). Aspectos de las legumbres nutricionales y beneficiosos para la salud humana. *arbor*, 192(779), 313.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, 33, 257.
- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, E. C., Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 427-437.
- ESRI. Enterprise geographic information servers: A new information system architecture. A esri White paper. Technical report, ESRI, 2003. Consultado 13-05-2019 en <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/enterprise-gis.pdf>.
- FAO. Panorama Agroalimentario Frijol (2015) Consultado 10-09-2018 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200638/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf
- Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9(18), 133-148.
- Flores Plascencia, JB. Respuesta de la fertirrigación fosfatada sobre el estado nutricional del manzano 'Golden Delicious'. 2007. Tesis de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola. P. 185.
- Frijol Mexicano. • Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Planeación Agrícola Nacional (2016-2030). Disponible en [http://www.planeacionagricolainacional.mx/assets/basico-frijol-\(monografia\).pdf](http://www.planeacionagricolainacional.mx/assets/basico-frijol-(monografia).pdf) Consultado el 18 de agosto de 2018.

- Gil, E. (2010). Situación actual y posibilidades de la Agricultura de Precisión. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, España, 59(1-12).
- 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.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). Sistema de Información Geográfica. Pag. 3-11 Consultado 13-05-2019 en <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografia.pdf>.
- Iniestra-González, J.J., F.J. Ibarra-Pérez, J.A. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán, y R.F. González-Laredo. (2005). Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia* 39:603-610.
- Jacinto, H. C., Hernández, S. H., Azpíroz, R. H. S., Acosta, G. J. A. y Bernal, L. I. (2002). Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. *Agrociencia*, jul-agos. Vol. 36: 451-459.
- Lara-Flores, M. (2015). El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria de la UNAM*, 16(2), 1-11.
- Leiva, F. R. (2003, July). La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. In *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos* (Vol. 93, pp. 997-1006).
- Licea, G. R., Salazar, J. A. G., Rebollar, S., & Contreras, A. C. C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*, 2(1), 121-145.
- Lisarazo, S. I., & Alfonso, C.O. (2010). Precision Agriculture Applications in the Cultivation of *Elaeis Guineensis* and Hybrid O x GOil Palms. *Revista de Ingeniería Argentina* pp 24-25.

- López Soto, J., & Ruiz Corral, J., & Sánchez González, J., & Lépiz Ildfonso, R. (2005). Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la república mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28 (3), 221-230.
- Mahajan R, Zargar SM, Aezum AM, Farhat S, Gani M, Agrawal GK, Rakwal R. (2015). Evaluation of Iron, Zinc, and Protein Contents of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes: A Collection from Jammu & Kashmir, India. *Legume Genomics and Genetics* 6(2): 17.
- Maldonado, S. H. G., Gallegos, J. A. A., Muñoz, M. D. L. Á. Á., Delgado, S. G., & Piña, G. L. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 28(2), 159-173.
- Martínez Beltrán, C. & Calera Belmonte, A. (2001). Irrigated crop area estimation using Landsat TM imagery in La Mancha, Spain [online]. In: *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, Vol. 67, No. 10 (oct). Bethesda (Maryland, USA): The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. p. 1177-1184
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42(2), 57-66
- Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62.
- NMX-F-066-S-1978. (1978). Determinación de cenizas en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>.
- NMX-F-427-1982. (1982). Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-427-1982.PDF>
- NOM-F-90-S-1978. (1978). Determinación de fibra cruda en Alimentos. Norma Oficial Mexicana. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=479984&fecha=27/03/1979

- Ojijo O, Kimura T, Koaze H. (2000). Composition, Soaking and Softening Characteristics of Some Kenyan Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Science and Technology Research* 6(1): 12-18.
- Peña, L.J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para Esri ArcGis 9.* Editorial club universitario. Universidad de Alicante. Pag. 3-4.
- Piña Guzmán, A. B. (2015). Caracterización fitoquímica de la fracción hipoglucemiante aislada de extracto acuoso de la vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Piñón D. (2018). Cosecha de frijol se desplomará un 50% en Chihuahua. *EL Heraldo de Chihuahua*. Consultado: 19 de agosto de 2018. Disponible en <https://www.elsoldemexico.com.mx/república/sociedad/cosecha-de-frijol-se-desplomara-un-50-en-chihuahua-1926916.html>
- Pérez-Herrera, P., G. Esquivel-Esquivel, R. Rosales-Serna, y A. Acosta-Gallegos. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano.
- Romano, S.A., I. Tevés, y L. Cazón. (2010). Behaviour of mechanically y damaged seeds on the development and yield of normal and abnormal bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Plants. IDESIA (Chile)* 28(2):1-31.
- Runquist, S.; Zhang, N. & Taylor L. K. (2001). Developmen of a field level geographic information system. In: *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 31, No. 2 (apr). Kidlington (Oxford, UK): Elsevier. p. 201-209.
- Sánchez G J J, J A Ruiz C (1995) Teosinte distribution in Mexico. In: *Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize Varieties, and Teosinte; Implication for Transgenic Maize.* J A Serratos, M C Willcox, F Castillo (eds). Mexico, D. F. CIMMYT. pp:1839.
- Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallegos, 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.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017), 06 mayo. Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/aumenta-14-por-ciento-produccion-de-frijol-en-mexico> Consultado el 20 de agosto de 2018.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2018) Consultado 10-09-2018 en <https://www.gob.mx/sagarpa>

Sensor Automatización Agrícola S. A. Grupo Sensor (2018). Consultado 26-09-2018 en: <http://www.sensoagri.com/sensor/agricultura-de-precision.htm>

SIACON-SAGARPA (2006). Superficie cosechada y producción de frijol anual en México, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/siacon>.

SIAP. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. Frijol (2018). Consultado 10-09-2018 en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do

Skop, E., & Schou, J. S. (1999). Modeling the effects of agricultural production. An integrated economic and environmental analysis using farm account statistics and GIS. *Ecological Economics*, 29(3), 427-442.

Star, J., & Estes, J. E. (1990). *Geographic information systems: an introduction* (Vol. 303). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Stoorvogel, J. J., Orlich, R. A., Vargas, R., & Bouma, J. (2000). Linking information technology and farmer knowledge in a decision support system for improved banana cultivation. In *Tools for land use analysis on different scales* (pp. 199-212). Springer, Dordrecht.

Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 131-137.

Tomlin, C. D. (1990). *Geographic information systems and cartographic modelling* (No. 910.011 T659g). New Jersey, US: Prentice-Hall.

- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos.
- Uvalle-Bueno, J. X. (1993). Identificación de las propiedades del suelo asociadas con la clorosis en soya. *Agricultura Técnica en México*, 39, 1.
- Vargas, E. M., Castro, E., Macaya, G., & Rocha, O. J. (2003). Variación del tamaño de frutos y semillas en 38 poblaciones silvestres de *Phaseolus lunatus* (Fabaceae) del Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 51(3-4), 707-724.
- Velasco-González O, San Martín-Martínez E, Aguilar-Méndez M, Pajarito Ravelero A, MoraEscobedo R. (2013). Propiedades físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro* 25(3): 161-166.
- Williamson, R. A., & Center, G. I. (2001). Using geospatial technologies to enhance and sustain resource planning on native lands. *PE & RS- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(2), 167-169.
- Zhang, Y. J., Li, A. J., & Fung, T. (2012). Using GIS and multi-criteria decision analysis for conflict resolution in land use planning. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 2264-2273.

VII. ANEXOS

7.1. Análisis físico de suelo.

Cuadro 7.1. Propiedades del analisis fisico del suelo en el que se sembraron las distintas variedades de frijol.

#	%Arena	%Limo	Categoria	%Arcilla	Cm/hr C.H.	Rango 1.68-4.20	% Sat	Rango 32.01-41
								Analisis
1	39.07	20.50	Migajon arcillo arenoso	40.43	2.64	Moderada	35	Media
2	61.07	12.50	Arcilla Fte arenosa	26.43	2.30	Moderada	23	Baja
20	56.13	17.12	ArcillaFtear enosa	26.75	5.08	Mod rapida	30	Med Baja
22	66.13	11.12	Arena arcillosa	22.75	8.07	Mod rapida	25	Med Baja
23	66.13	11.12	Arena arcillosa	22.75	8.07	Mod rapida	25	Med baja
24	57.01	18.40	Migajon arenoso	24.59	16.71	Rapida	43	Med alta
28	31.07	34.50	Migajon arcillo arenoso	34.43	3.83	Moderada	36.50	Media
33	41.41	11.52	Arcilla arenosa	47.07	20.60	Rapida	50	Med Alta

7.2. Análisis Básico de suelo

Cuadro 7.2. Propiedades del análisis básico del suelo en el que se sembraron las distintas variedades de frijol.

#	Análisis Básico de Suelo					
	pH	Rango 7	C.E. Mmhos/cm	Rango <1.15	C.I.C. cmol Kg-1	Rango 15.1-25.0
1	5.52	Med. Acido	0.20	Normal	34.07	Alta
2	4.94	Fuertemente Acido	0.20	Normal	22.32	Media
20	7.21	Lig. Alcalino	1.60	Lig. Salino	27.14	Alta
22	7.32	Lig. Alcalino	0.59	Normal	23.20	Media
23	7.32	Lig. Alcalino	0.59	Normal	23.20	Media
24	6.65	Ligeramente Acido	0.40	Normal	28.36	Alta
28	6.05	Ligeramente Acido	0.40	Normal	33.13	Alta
33	7.32	Lig. Alcalino	0.75	Normal	30.23	Alta
98	5.74	Med. Acido	0.05	Normal	14.63	Baja

Cuadro 7.2.1. Continuación del cuadro anterior.

#	Análisis Básico de Suelo			
	% MO	Rango 1.21-1.60	% CaCO ₃	Rango 6.01-15.0
1	0.33	Muy Bajo	0.00	Libre
2	0.59	Bajo	0.00	Libre
20	1.04	Medio Bajo	19.81	Libre
22	1.90	Medio Alto	22.01	Alto
23	1.90	Medio Alto	22.01	Alto
24	1.92	Medio Alto	0.00	Libre
28	1.92	Medio Alto	0.00	Libre
33	0.92	Medio Bajo	0.00	Libre

98 0.58 Bajo 0.00 Libre

7.3. Análisis nutricional de suelo

7.3.1. Concentración de Macronutrientes

Cuadro 7.3. Concentración de macronutrientes en el suelo en que se sembraron las distintas variedades de frijol.

Macronutrientes (%)										
#	NO ₃ Kg/ha	Rango 150.1- 300	P Kg/ha- 1	Rango 22-25	K ppm	Rango 80.01- 160	Ca Ppm	Rango 1500- 5000	Mg ppm	Rango 80.01- 160
1	116.25	Med Bajo	11.14	Def	525.00	Alto	5375.0	Alto	575.00	Exceso
2	123.75	Med Bajo	3.76	Def	412.50	Alto	3550.0	Normal	350.00	Alto
20	56.25	Bajo	6.64	Def	937.50	Exceso	4037.5	Normal	450.00	Exceso
22	95.63	Bajo	5.13	Def	587.50	Exceso	3400.0	Alto	487.87	Exceso
23	95.63	Bajo	5.13	Def	587.50	Exceso	3400.0	Alto	487.87	Exceso
24	135.00	Med Bajo	4.01	Def	562.50	Exceso	4175.0	Alto	525.00	Exceso
28	129.38	Med Bajo	3.88	Def	737.50	Exceso	5087.5	Alto	562.50	Exceso
33	74.00	Bajo	31.80	Bajo	250.00	Bajo	1337.5	Bajo	2675.0	Exceso
98	56.25	Bajo	33.00	Alto	425.00	Exceso	1787.5	Normal	462.50	Exceso

7.3.2. Concentración de Micronutrientes

Cuadro 7.4. Concentración de micronutrientes en el suelo en que se sembraron las distintas variedades de frijol.

#	Micronutrientes (%)									
	Na Ppm	Rango 500-1000	Cu ppm	Rango 5.01- 10.0	Fe Ppm	Rango 20.01-40	Mn Ppm	Rango 40.01-80	Zn ppm	Rango 5.01-10
1	262.50	Bajo	1.16	Bajo	6.52	Bajo	32.70	Suficiente	0.96	Med Bajo
2	262.50	Bajo	0.92	Bajo	19.10	Suficiente	30.26	Suficiente	0.72	Med Bajo
20	200.00	Bajo	0.30	Def	1.92	Deficiente	2.40	Deficiente	0.62	Bajo
22	162.50	Bajo	0.28	Def	1.76	Deficiente	7.30	Bajo	0.60	Deficiente
23	162.50	Bajo	0.28	Def	1.76	Deficiente	7.30	Bajo	0.60	Deficiente
24	400.00	Bajo	0.36	Def	4.84	Bajo	2.46	Deficiente	3.40	Suficiente
28	275.00	Bajo	1.70	Bajo	27.32	Alto	18.84	Bajo	1.82	Med Bajo
33	225.00	Bajo	0.44	Def	8.14	Bajo	32.94	Bajo	1.26	Med Bajo
98	187.50	Bajo	0.78	Bajo	1.82	Bajo	3.94	Bajo	0.56	Bajo