



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ciencias Agrícolas



**EFECTO DE LA FERTILIZACION QUÍMICA COMPLEMENTADA CON
BORO EN EL RENDIMIENTO DE BETABEL ROJO (*Beta vulgaris* L.)**

T E S I S

**QUE COMO TRÁMITE PARCIAL PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL
DE LA CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

PRESENTAN:

MIGUEL ADOLFO GARDUÑO RODRÍGUEZ

CARLOS ADRIÁN ARZALUZ REYES

ASESORES:

DR. MARTÍN RUBÍ ARRIAGA

DR. JESÚS GAUDENCIO AQUINO MARTÍNEZ

Campus Universitario El Cerrillo, Toluca, México. Octubre de 2022.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUCCIÓN	16
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	18
2.1 Objetivo general	18
2.2 Objetivos específicos	18
2.3. Hipótesis	18
3. REVISIÓN DE LITERATURA	19
3.1. Cultivo de betabel	19
3.1.1. Origen e importancia	19
3.1.2. Clasificación y morfología	20
3.1.3. Cultivares.....	24
3.1.4. Condiciones agroclimaticas... ..	25
3.1.5.Preparacion del terreno y siembra.....	25
3.1.6. Labores culturales.....	26
3.1.7. Control de plagas.....	28
3.1.8. Comntrol de enfermedades.....	41
3.1.9. Cosecha.....	52
3.1.10. Usos.....	52
3.2. Fertilización química.....	54
4. MATERIALES Y MÉTODOS	58
4.1 Ubicación del experimento	58

4.2. Material vegetal	58
4.3. Diseño experimental y tratamientos	59
4.4. Establecimiento del experimento	60
4.5. Conducción del experimento	61
4.6 Variables de estudio	62
4.7. Análisis estadístico	65
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
5.1. Altura de planta y número de hojas	67
5.2. Longitud de raíz y diámetro polar del tubérculo	68
5.3. Peso fresco de tubérculo, follaje y planta	70
5.4. Peso seco de tubérculos, follaje y planta	72
5.5. Rendimiento en fresco de tubérculos	72
6. CONCLUSIONES	78
8. LITERATURA CITADA	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cultivares comerciales de betabel (<i>Beta vulgaris</i> L.) y sus características agronómicas	22
Cuadro 2. Época de siembra y días a madurez de betabel (<i>B. vulgaris</i>) según la zona de producción	24
Cuadro 3. Plaguicidas químicos, botánicos y biológicos recomendados para el control del tubérculo y follaje de betabel rojo	37
Cuadro 4. Plaguicidas químicos, orgánicos y biológicos recomendados para el control de enfermedades de betabel rojo	48
Cuadro 5. Composición fitoquímica de betabel (<i>B. vulgaris</i>)	51
Cuadro 6. Tratamientos de fertilización evaluados para la nutrición química de betabel rojo en condiciones de macro túnel en Villa Guerrero, México y costo de las dosis	58
Cuadro 7. Productos químicos y botánicos aplicados para la prevención y control de plagas y enfermedades de betabel rojo en Villa Guerrero, México	60
Cuadro 8. Significancia estadística de los valores de F de altura y número de hojas por planta del estudio de nutrición química de betabel rojo	65
Cuadro 9. Valores promedio de altura y número de hojas por planta y tratamiento del estudio de nutrición química de betabel rojo	66
Cuadro 10. Significancia estadística de los valores de F de longitud y diámetro polar de tubérculo del estudio de nutrición química de betabel	67
Cuadro 11. Valores promedio de longitud y diámetro polar de tubérculo por tratamiento del estudio de nutrición química de betabel rojo	68
Cuadro 12. Significancia estadística de los valores de F de peso fresco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo	68
Cuadro 13. Valores promedio de peso fresco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo	69
Cuadro 14. Significancia estadística de los valores de F de peso seco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo	70

Cuadro 15. Valores promedio de peso seco de tubérculo, follaje y planta de betabel rojo por tratamiento de nutrición química	71
Cuadro 16. Significancia estadística de los valores de F de rendimiento en fresco tubérculos por tratamiento de nutrición química de betabel rojo	71
Cuadro 17. Valores promedio de rendimiento en fresco de tubérculos por tratamiento de nutrición química de betabel rojo	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de betabel rojo (<i>Beta vulgaris</i> L.)	21
Figura 2. Larva de gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> spp.) y daños en tubérculo de betabel ..	27
Figura 3. Larva de “gusano trozador” (<i>Agrotis</i> sp.)	28
Figura 4. Adulto de pulga saltona (<i>Chaetocnema</i> sp.)	29
Figura 5. Adulto de “diabrotica o doradilla” (<i>Diabrotica balteata</i>)	30
Figura 6. Galería de minador en hoja de betabel rojo	31
Figura 7. Gusano falso medidor (<i>Trichoplusia ni</i>)	32
Figura 8. Gusano defoliador (<i>S. exigua</i>) y daños en el follaje de betabel	33
Figura 9. Presencia de pulgón negro en el cogollo de remolacha	34
Figura 10. Babosa atacando un tubérculo de betabel	35
Figura 11. Galería y raíz de betabel dañada por el ataque de tuza	36
Figura 12. Marchitez vascular del betabel por <i>F. oxysporum</i>	40
Figura 13. Síntomas de mildiu en la hoja de remolacha por <i>Peronospora farinosa</i>	41
Figura 14. Cenicilla polvorienta (<i>E. betae</i>) en el follaje de betabel	42
Figura 15. Síntomas de viruela del betabel	43
Figura 16. Mancha foliar del betabel por <i>Alternaria</i> sp.	44
Figura 17. Roya del betabel (<i>Uromyces betae</i>)	45
Figura 18. Agallas radiculares en betabel por el nematodo falso nodulador <i>Nacobbus</i> <i>aberrans</i>	47
Figura 19. Agallas radiculares en betabel por el nematodo agallador <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i>	47
Figura 20. Plantas de betabel cv. Bettollo F1	57
Figura 21. Croquis de distribución de los tratamientos de fertilización química de betabel en la parcela experimental	58
Figura 22. Primera y segunda aplicación de los tratamientos de fertilización química	59
Figura 23. Determinación de altura de planta y longitud de raíz de betabel rojo	61
Figura 24. Determinación de diámetro polar del tubérculo de betabel rojo	62

Figura 25. Determinación de peso fresco de tubérculo y follaje de betabel rojo	63
Figura 26. Determinación de peso en fresco de tubérculos de betabel cosechados por tratamiento	64

RESUMEN

México posee las condiciones de clima y suelo adecuadas para el cultivo de betabel rojo (*Beta vulgaris*). Los tubérculos de betabel se consumen en fresco, ya que contienen más azúcar que cualquier otra hortaliza, son bajos en calorías y grasas; son una excelente fuente de fibra, vitaminas y minerales. El tubérculo produce un pigmento rojo debido a compuestos llamados betalaínas que sirven para elaborar el colorante conocido como rojo de betabel que se usa en la industria de los alimentos procesados. El Estado de México también tiene zonas hortícolas de clima templado y frío donde se cultiva betabel, pero en éstas no se cuenta con una fórmula de fertilización propia para el cultivo. La fórmula recomendada para esta especie se basa solamente en la aportación de nitrógeno y fósforo, sin incluir el potasio y otros nutrientes esenciales para el cultivo como el calcio y el boro. Para mejorar el rendimiento y calidad de los tubérculos, se decidió llevar a cabo la presente investigación, con el propósito de: “Evaluar la respuesta de betabel rojo a la nutrición química complementada con potasio, calcio y boro en la zona templada del Estado de México”.

El estudio se realizó en el ciclo agrícola otoño-invierno 2021-2022 en macro-túnel rústico, en “El Islote”, Villa Guerrero, Estado de México. El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 6 tratamientos (cuatro dosis de fertilización química más boro, una dosis de fertilización química para cultivos comerciales de betabel y un testigo), 5 repeticiones y 30 unidades experimentales 3 m². Se consideraron las siguientes variables de estudio: altura de planta, longitud de raíz, número de hojas por planta, diámetro polar de tubérculo; peso fresco y seco de tubérculo, follaje y planta, y rendimiento en fresco de tubérculos. La fertilización química de betabel rojo complementada con potasio, calcio y boro aumentó el número de hojas por planta, longitud de raíz, diámetro polar de tubérculo; así como el peso fresco y seco de tubérculo, follaje y planta, con respecto al tratamiento de fertilización basado solo en el aporte de nitrógeno y fósforo. La dosis de fertilización (100N-90P-140K+70Ca+10B) fue la mejor, ya que incrementó significativamente el

rendimiento y calidad de los tubérculos de betabel rojo. La incorporación de B en los tratamientos de fertilización de betabel rojo presentó sinergismo con los demás nutrimentos, sobre todo con K y Ca, al producir tubérculos de mayor tamaño, peso y firmeza. La combinación de K, Ca y B en el tratamiento de fertilización de betabel rojo maximizó la eficiencia del empleo de fertilizantes químicos en la nutrición del cultivo.

ABSTRACT

Mexico has the right climate and soil conditions for the cultivation of red beets (*Beta vulgaris*). Beet tubers are consumed fresh, since they contain more sugar than any other vegetable, they are low in calories and fat; they are an excellent source of fiber, vitamins and minerals. The tuber produces a red pigment due to compounds called betalains that are used to make the dye known as beet red that is used in the processed food industry. The State of Mexico also has horticultural zones with temperate and cold climates where beets are grown, but these do not have their own fertilization formula for the crop. The recommended formula for this species is based only on the contribution of nitrogen and phosphorus, without including potassium and other essential nutrients for the crop such as calcium and boron. To improve the yield and quality of the tubers, it was decided to carry out the present investigation, with the purpose of: "Evaluating the response of red beets to chemical nutrition supplemented with potassium, calcium and boron in the temperate zone of the State of Mexico".

The study was carried out in the autumn-winter 2021-2022 agricultural cycle in a rustic macro-tunnel, in "El Islote", Villa Guerrero, State of Mexico. The experiment was established under a randomized complete block experimental design (BCA) with 6 treatments (four doses of chemical fertilization plus boron, one dose of chemical fertilization for commercial beet crops and a control), 5 repetitions and 30 experimental units 3 m². The following study variables were considered: plant height, root length, number of leaves per plant, tuber polar diameter; fresh and dry weight of tuber, foliage and plant, and fresh tuber yield. Chemical fertilization of red beets supplemented with potassium, calcium and boron increased the number of leaves per plant, root length, tuber polar diameter; as well as the fresh and dry weight of the tuber, foliage and plant, with respect to the fertilization treatment based only on the contribution of nitrogen and phosphorus. The fertilization dose (100N-90P-140K+70Ca+10B) was the best, since it significantly increased the yield and quality of

red beet tubers. The incorporation of B in red beet fertilization treatments presented synergism with the other nutrients, especially with K and Ca, by producing tubers of greater size, weight and firmness. The combination of K, Ca and B in the red beet fertilization treatment maximized the efficiency of the use of chemical fertilizers in crop nutrition.

1. INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de hortalizas de raíz y tubérculo está en constante crecimiento y uno de ellos es el betabel rojo (*Beta vulgaris* L.), el cual se consume en fresco tanto por sus cualidades nutricionales como por sus propiedades medicinales. Los principales estados productores son Puebla, Jalisco, Baja California, Sonora y México (SIAP, 2019). El Estado de México tiene zonas templadas y frías que poseen suelos con características físico-químicas adecuadas para la producción de betabel. Los tubérculos de esta especie contienen más azúcar que cualquier otra hortaliza, son bajos en calorías y grasas; además, son fuente de fibra, vitaminas y minerales. El tubérculo produce un pigmento rojo debido a que contiene betalaínas que sirven para elaborar un colorante conocido como rojo de betabel que se usa en la industria de los alimentos procesados (Moreno *et al.*, 2002).

El betabel es una hortaliza de tubérculo que se consume en fresco en ensaladas, postres y jugos, principalmente. Pero, últimamente la industria de los alimentos y cosméticos requiere de colorantes naturales para mejorar la presentación de sus productos. Los colorantes empleados por la industria son de síntesis química y presentan algunos inconvenientes para el consumo de alimentos procesados. Una alternativa es el cultivo de plantas que produzcan colorantes naturales, los cuales son inocuos y no representan ningún riesgo para la salud de los consumidores. El fuerte color rojo de los tubérculos de esta especie se debe a que contienen compuestos fenólicos llamados betalaínas (Azeredo, 2009).

En la zona templada hortícola del Estado de México el betabel se cultiva empleando insumos de síntesis química, tales como fertilizantes, plaguicidas y otros productos. En la nutrición del cultivo, los fertilizantes comerciales que más se aplican son aquellos que aportan nitrógeno, fósforo y potasio; estos influyen en el crecimiento de las plantas y el llenado de los tubérculos. Sin embargo, para obtener rendimiento y calidad en las

hortalizas de raíz y tubérculo, no solo se requiere la aplicación de estos tres macro nutrimentos, ya que se ha demostrado que la adición de una mayor cantidad de potasio suplementada con calcio y boro en el tratamiento de fertilización, incrementa el rendimiento, la firmeza y el contenido de colorante del producto. La concentración de colorante no solo depende del cultivar, sino también de la nutrición química del cultivo (Singh *et al.*, 2012). Por otro lado, en la entidad no se cuenta con una fórmula de fertilización propia para este cultivo, situación por la cual en el presente trabajo de investigación se pretende determinar el tratamiento de fertilización que produzca un buen rendimiento y calidad de tubérculos de betabel en la zona templada del Estado de México.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. General

Evaluar la respuesta de betabel rojo a la nutrición química complementada con potasio, calcio y boro en la zona templada del Estado de México.

2.2. Específicos

- a) Evaluar cuatro dosis de fertilización química en la nutrición de betabel rojo bajo condiciones de macro-túnel rústico en El Islote, Villa Guerrero, Estado de México.
- b) Determinar el efecto del potasio, calcio y boro en el rendimiento y calidad de tubérculos de betabel.
- c) Determinar la dosis de fertilización óptima para la nutrición del cultivo de betabel en zona templada del Estado de México.

2.3. Hipótesis

La nutrición basada en la combinación de los nutrimentos esenciales N, P, K, Ca y B, incrementa el rendimiento y calidad de los tubérculos de betabel rojo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Cultivo de betabel

3.1.1. Origen e importancia

Las especies silvestres de betabel (*Beta vulgaris* L.) están distribuidas desde el suroeste, norte y sudeste de Europa, a lo largo de las costas atlánticas y del Mediterráneo, hasta el norte de África, Macaronesia y Asia occidental. Las plantas crecen en los acantilados costeros, en las playas pedregosas y arenosas, en las marismas o praderas costeras y en lugares toscos o alterados (Plantas y Flores.Pro, 2020). El betabel es originario del mediterráneo europeo, donde los griegos aprovechaban sus hojas como alimento. En 1558 fue reportado en Alemania y en América en 1806; esta hortaliza se seleccionaba para consumirla cocida (Valadez, 1994).

La evidencia sugiere que el betabel se ha cultivado desde el siglo I d.C., tiempo durante el cual se han desarrollado una amplia gama de formas; estas incluyen a la remolacha azucarera, que es un cultivo agrícola importante y proporciona alrededor del 30% del azúcar del mundo (Plantas y Flores.Pro, 2020). El betabel está considerado como una hortaliza de raíz, aunque en realidad es un tallo bulboso o tubérculo y constituye un órgano de almacenamiento, principalmente de azúcares y almidones. La remolacha y la acelga son plantas semejantes, del mismo género y especie que el betabel. La remolacha contiene una mayor cantidad de azúcares y se emplea industrialmente para su extracción, mientras que en la acelga se aprovechan sus hojas; pero, también las hojas de betabel se consumen cocidas (FAX México, 2020).

En México, el cultivo de betabel está cobrando importancia ya que se siembran aproximadamente 1,047.46 ha. Se produce principalmente en 15 estados, pero es Puebla en donde se cultiva más por año, pues tan solo en el 2020 se produjeron alrededor de 10,534 toneladas (SADER, 2021). Los principales estados productores, son: Puebla, Jalisco, Baja California, Sonora y México, cuya superficie representa el 87.51% de la superficie sembrada con esta hortaliza en nuestro país. El Estado de México tiene zonas templadas adecuadas para la producción comercial de hortalizas y destina 74 ha al cultivo de betabel, generando una producción de 1,555.96 toneladas con un valor estimado en \$7'892,320.00 (SIAP, 2019). El principal productor es el municipio de Tenango del Valle con una superficie sembrada de 38 ha, una producción de 874 toneladas y un valor valorado en \$3'058,248.36 (SEDAGRO, 2018).

3.1.2. Clasificación y morfología

El betabel y la remolacha pertenecen a la familia de las quenopodiáceas y no existe una aceptación general sobre la división de las especies. En algunas ocasiones se reconocen las siguientes subespecies (o variedades botánicas): *Beta vulgaris* subsp. *maritima* o subsp. *perennis* para la planta silvestre; *B. vulgaris* subsp. *vulgaris* para el betabel; *B. vulgaris* subsp. *cicla* para la acelga; *B. vulgaris* subsp. *altissima* para la remolacha azucarera (Hanan y Mondragón, 2009). En la Flora de Norteamérica (2021), se reconocen tres especies: *Beta vulgaris*, *B. vulgaris* subsp. *maritima* y *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*. Actualmente, el betabel rojo se clasifica de la siguiente manera:

Dominio: Eukaryota

Reino: Viriplantae

Phylum: Spermatophyta

Subphylum: Streptophytina

Clado: Embriophyta

Clado: Tracheophyta

Clado: Euphyllophyta
Clado: Spermatophyta
Clase: Magnoliopsida
Clado: Mesangiospermas
Clado: Eudicotiledóneas
Clado: Gunneridae
Clado: Pentapétalas
Orden: Caryophyllales
Familia: Chenopodiaceae
Subfamilia: Betaideae
Género: *Beta*
Especie: *vulgaris*
Nombre científico: *Beta vulgaris* L. (NCBI, 2020).

El betabel es una planta bianual que durante el primer año de cultivo produce una roseta de hojas de márgenes enteros o sinuosos, de forma oval con peciolo alargado y limbo liso o abullonado (Figura 1). En el segundo año la planta forma el tallo floral que alberga una inflorescencia compleja, larga y laxa que contiene flores de color verde amarillento (Maroto, 2002).

Raíz. La raíz se forma durante el primer año; es espesa, carnosa y pivotante; en un corte transversal se aprecian bandas circulares alternas de tejidos almacenadores y conductores de nutrimentos (Edmon *et al.*, 1967). Los anillos concéntricos claros son el xilema y los oscuros corresponden al floema, mientras menor sea el número de anillos claros mayor será la calidad de la raíz (Guenko, 1983).

La raíz primaria es diarca, produciéndose dos líneas verticales de raíces laterales; en lugar de un cambium que continúe el desarrollo y produzca mayor o menor proporción de tejido secundario, aparece un segundo cambium en el periciclo. El floema producido

por este cambium forma un anillo por fuera del floema, procedente del primer cambium y queda separada de este por medio de un anillo de parénquima. De esta manera se llegan a desarrollar hasta ocho a nueve anillos, produciendo cada uno de ellos un xilema y un floema interno. En corte trasversal, la raíz madura muestra una serie de anillos concéntricos y tejido vascular separados por un parénquima (Duran, 2013).

Tallo. El tallo mantiene un crecimiento limitado durante el primer año, localizándose en el punto de inserción de la raíz carnosa y las hojas; el tallo floral crece después de la vernalización de la raíz carnosa. Es ramificado y puede alcanzar una altura de 0.80 a 1.20 m, cada una de las ramificaciones terminan en una flor. (Huerres y Carballo, 1991).

Hojas. Las hojas son simples y se agrupan formando una roseta. El limbo es triangular de color verde o morado, con las nervaduras generalmente moradas. El pedúnculo es alargado y algo veloso en algunas variedades (Huerres y Carballo, 1991). Las hojas basales tienen un pecíolo largo que puede estar engrosado y de color rojo, blanco o amarillo en algunos cultivares. La lámina de la hoja simple es oblanceolada o en forma de corazón, verde oscuro a rojo oscuro, ligeramente carnosa, generalmente con una nervadura central prominente, con margen completo u ondulado; las hojas superiores son más pequeñas, sus láminas son rómbicas a estrechamente lanceoladas (Pantas y Flores.Pro, 2020).

Flores. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula; las flores son sésiles y hermafroditas, pudiendo aparecer solas o en grupos de dos o tres. El cáliz es de color verdoso y está compuesto por cinco sépalos y cinco pétalos, y cubre las semillas formando un pequeño fruto que contiene 2-6 semillas muy pequeñas en forma de munición o un frijol, siendo de color café (Valadez, 1993). Las flores se producen en las axilas de las brácteas cortas o en la mitad superior de una inflorescencia sin brácteas; tienen forma de urna, de color verde o matizado de rojo, y consisten de cinco segmentos de perianto (tepales) connados basalmente, 3-5 x 2-3 mm, 5 estambres y un ovario

semi-inferior con 2-3 estigmas. (Gregorio, 2010). La polinización es alógama y generalmente anemófila (Maroto, 2002; Duran, 2013).



Figura 1. Planta de betabel rojo (*Beta vulgaris* L.). Fuente:

https://es.123rf.com/photo_55783849_remolacha-fresca-con-hojas-ilustraci%C3%B3n.html. 2022.

Fruto y semillas. Las flores se pegan en su base y crecen unidas durante la maduración para formar frutos aglomerados que normalmente contienen tantas semillas como flores aglomeradas en el glomérulo. Los frutos secos se consideran las “semillas” comerciales y con frecuencia se les llaman glomérculos o semilla multigermen. El fruto contiene de 2 a 6 semillas muy pequeñas en forma de munición, por lo general de color café (Stewart, 1975).

3.1.3. Cultivares

Los cultivares comerciales de betabel rojo mayormente cultivados para consumo en fresco en nuestro país son las de forma redonda y cónica. Por lo general, también son las mismas que se cultivan en los Estados Unidos. En este país los cultivares para producción en campo abierto y condiciones protegidas, son: Crimson Globe, Forono, Barabietola de Chioggia, Bulls Blood, Gelden Beet, White Beet y Mixed Beet (Gregorio, 2010). Dentro de las variedades cultivadas en México, están: Ruby Queen, Red Pack y Crimson Tide (Flores y Barragán, 2017). Las características agronómicas de los híbridos y variedades de betabel, mayormente comercializados se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cultivares comerciales de betabel (*Beta vulgaris* L.) y sus características agronómicas.

Cultivar	Días a madurez	Forma del tubérculo	Color de raíz	Altura follaje	Color de follaje
Híbridos					
Centurion	53	Redonda	Rojo oscuro	30-36 cm	Verde/rojo
Chariot	54	Globo	Rojo obscuro	38 cm	Verde
Scarlet Supreme	54	Globo/redonda	Rojo obscuro	30-36 cm	Verde medio a oscuro
Polinización Libre (variedades)					
Cardenal	60	Globo	rojo	-	-
Detroit Dark Red Medium Top	58	Globo	Rojo obscuro	36-41 cm	Verde oscuro con venas marrón
Detroit Dark Red Short Top	58	Globo	Rojo obscuro	30-38 cm	Verde oscuro con venas marrón
Early Wonder Tall Top	-	-	-	-	-

Fuente: FAX México, 2020.

3.1.4. Condiciones agroclimáticas

Suelo. El betabel es susceptible a suelos ácidos, se desarrolla mejor en suelos que van de neutros a alcalinos, prefiriendo un pH de 6.5 a 7.5, aunque a veces a un pH de 7.6 se pueden presentar deficiencias de boro; es altamente tolerante a la salinidad. Se desarrolla en suelos de textura ligera (arenosos), ya que en suelos arcillosos se deforma la raíz o tubérculo (Gregorio, 2010).

Clima. El clima es uno de los principales factores que inciden directamente sobre el rendimiento. Un clima templado, soleado y húmedo contribuye a la producción de un elevado porcentaje de carbohidratos y nutrientes en el betabel. En este cultivo es muy importante la intensidad de iluminación, ya que permite una adecuada utilización de la fotosíntesis (Arrais, 2001). El betabel es una planta de clima frío, aunque se puede explotar en clima cálido, pero sería de menor calidad. La temperatura de germinación es de 10 a 30°C con una óptima de 20 a 25°C. La temperatura para su desarrollo oscila entre 16 a 21°C. La planta tolera bien las heladas; a temperaturas mayores de 25°C se forman anillos concéntricos de color blanco en el tallo tuberoso y disminuye el contenido de azúcares (FAX México, 2020).

3.1.5. Preparación del terreno y siembra

Preparación del terreno. Comienza con una labor de subsuelo para romper la compactación del piso arable formado por el paso continuo de maquinaria. Para realizar esta práctica se requiere de cincales que penetren de 35 a 40 cm de profundidad (InfoAgro, 2017). Luego sigue el barbecho con el fin de enterrar los restos del cultivo anterior, facilitar un buen desarrollo de las raíces y conservar la mayor cantidad posible de agua de lluvia. La preparación se completa con uno o dos pasos de rastra o cultivador, según las necesidades del terreno, con el objetivo de desmenuzar los terrones formados en el barbecho. Finalmente se hace el surcado, para lo cual se

requiere de una surcadora, la que realizará surcos a una separación de 1 metro y una altura de surco de 30 cm (Alvarado *et al.*, 2011).

Siembra. En nuestro país el betabel puede sembrarse durante todo el año, aunque en los meses cálidos baja el rendimiento y calidad (coloración) del tubérculo. Para el cultivo de betabel generalmente se usa la siembra directa, pero también se puede hacer por trasplante y se realiza cuando la plántula tiene de 3 a 4 hojas verdaderas; cuando se practica siembra directa, algunos productores utilizan el aclareo. Se pueden lograr densidades poblacionales de 215,000 a 220,000 plantas por hectárea con una densidad de siembra de 10 a 15 kg.ha⁻¹. La distancia entre surcos puede ser de 66 a 77 cm a hilera sencilla o de 92 a 100 cm a doble hilera; la distancia entre plantas es de 10 a 15 cm (Valadez, 1994). Generalmente las épocas de siembra varían de acuerdo a la zona (Cuadro 2).

Cuadro 2. Época de siembra y días a madurez de betabel (*B. vulgaris*) según la zona de producción.

Zona de producción	Época de siembra	Días a madurez
Fría	Marzo-junio	70-90
Templada	Todo el año	55-65
Cálida	Octubre-enero	60-90

Fuente: FAX México, 2020.

3.1.6. Labores culturales

Aclareo. Cuando las plantas tengan la cuarta hoja verdadera, es conveniente aclarar el cultivo, dejando una sola planta por sitio para evitar la formación de tubérculos suaves, deformes o ásperos, y que las raíces se enrollen una con otra. Sin embargo, es mejor hacer los aclareos en dos etapas, dejando primero dos plantas por punto y descartando la segunda cuando esta tenga ocho hojas (Fersini, 1974).

Aporques. Esta actividad consiste en arrimar tierra en la base del tallo de las plantas de betabel, se hace con un azadón para evitar que el tubérculo quede expuesto al sol y pierda su color característico. Se recomienda hacerse una vez que inicia el crecimiento de las raíces (Flores y Barragán, 2016).

Control de maleza. Siempre hay que mantener el cultivo libre de malezas, sobre todo en las primeras etapas de crecimiento de las plantas. El deshierbe debe hacerse en forma manual o con azadón. Para huertos familiares no es recomendable usar herbicidas. Las operaciones del cultivo para combatir las hierbas deben ser muy superficiales y oportunas, puesto que muchas raíces del betabel se desarrollan en los primeros 5 cm de la capa superficial del suelo (Flores y Barragán, 2016).

En plantaciones de mayor superficie se recomienda el control químicos de malas hierbas mediante la aplicación de herbicidas. Los herbicidas recomendados en pre-emergencia, son: Goltix + Pyramin DF (metamitron + cloridazon) ($0.5 \text{ L} + 0.5 \text{ kg.ha}^{-1}$) y Tramat 50 (etofumesato) + Dual Gold (s-metolaclor) ($0.25 \text{ L} + 0.175 \text{ L.ha}^{-1}$); mientras que, en post-emergencia se sugieren los siguientes herbicidas: Betanal AM (fenmedifam) + Tramat 50 (etofumesato) + Goltix (metamitron) ($0.25 + 0.2 \text{ L} + 0.3 \text{ kg.ha}^{-1}$), o bien, Pyramin DF (0.3 kg.ha^{-1}) (Agronews Castilla y León, 2016). Para el control de malezas de hoja angosta como la avena loca y pastos, se recomienda la aplicación de Select (clethodim), en post-emergencia a razón de $1-2 \text{ L.ha}^{-1}$ (Alvarado *et al.*, 2011).

Riego. Debe proporcionarse humedad de forma constante en el huerto, pero evitando los encharcamientos. Debe regarse preferentemente por las mañanas o en las tardes. Requiere aproximadamente 670 ml diarios de agua por planta (Flores y Barragán, 2016). A nivel comercial se pueden aplicar 5 a 7 riegos durante todo el ciclo de cultivo, con una frecuencia promedio de 18 días (Valadez, 1994).

3.1.7. Control de plagas

Dentro de las plagas que afectan al cultivo de betabel, se reportan las siguientes: “Gallina ciega” (*Phyllophaga* spp.), “pulga saltona” (*Chaectonema confinis*), “diabrotica” (*Diabrotica* sp.), “minador de la hoja” (*Pegomya hyoscyami*), “gusano falso medidor” (*Trichoplusia ni*) (Valadez, 1994), “gusano defoliador” (*Spodoptora exigua*) y “gusano peludo” (*Estigmene acraea*) (Alvarado *et al.*, 2011). Otras plagas son: “gusano de alambre” (*Agriotes* sp.), “pulgón verde” (*Myzus persicae*), “pulgón negro” (*Aphis fabae*) y “araña roja” (*Tetranychus urticae*) (MAPA, 2018). En la parcela experimental los tubérculos de betabel también fueron atacados por caracoles o “babosas” y tuzas.

Gallina ciega

Importancia y daños. A esta plaga se le conoce con los nombres vulgares de gallina ciega, gusano blanco y nixticuilt (Guzmán-Vásquez *et al.*, 2017). Las especies mayormente asociadas a los cultivos pertenecen a los géneros *Phyllophaga* y *Cyclocephala* (DGSV-CNRF, 2020) (Figura 2a); mientras que, las especies dañinas de *Phyllophaga* reportadas en México son alrededor de 24 (Morón, 1994). Las gallinas ciegas se alimentan de semillas y raíces de las plántulas, ocasionando su muerte y la reducción en el número de plantas del cultivo. También causan daños en las raíces tuberosas de betabel rojo, afectando la calidad de esta parte comestible (Figura 2b).

Medidas de combate. Hacer una buena preparación del terreno mediante la práctica de un barbecho profundo para exponer las larvas y pupas a las altas temperaturas y depredadores; además, es importante la eliminación de las malezas sobre todo los pastos que son hospederos comunes de la gallina ciega (Weppler, 2008). Al final de la cosecha, es necesario eliminar los residuos vegetales, ya que en estos el insecto pasa el invierno; antes de la presencia de heladas, se debe voltear el terreno para que las larvas, pupas y adultos los insectos mueran o sean alimento de los depredadores (CESAVEM,

2015). Se pueden aplicar hongos entomopatógenos al momento de la siembra, tales como *Metarhizium anisopliae* (Ruíz *et al.*, 2012; Gutiérrez, 2014; PLM-DIPO, 2019) y *Beauveria bassiana* (Intagri, 2001; PLM-DIPO, 2019). En hortalizas el único insecticida químico autorizado para el control de gallina ciega es diazinón 5G, a razón de 20-25 kg.ha⁻¹ (DGSV, 1999; De Liñán, 2021).



Figura 2. Larva de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) (a) y daños en tubérculo de betabel (b). Fuente a y b: Elaboración propia, 2021.

Gusanos trozadores (*Agrotis*, *Feltia* y *Prodenia*)

Importancia y daños. Los “gusanos trozadores” también llamados “rosquillas”, generalmente atacan a las plántulas de muchas especies de plantas y hortalizas como el betabel. Estos gusanos cortan el talluelo de las plántulas para alimentarse de las hojas tiernas, causando bajas en la población de plantas del cultivo (Figura 3). Los gusanos trozadores pertenecen a especies de los géneros *Agrotis*, *Feltia* y *Prodenia* (Cristóbal 2005).

Medidas de combate. El control cultural es mediante la eliminación de las malezas de la parcela al menos diez días antes de la plantación para destruir las larvas y las zonas de oviposición o puntos de alimentación (Biurrun *et al.*, 2015). El control biológico se

puede hacer con los mismos hongos entomopatógenos recomendados para plagas rizófagas (CESAVEM, 2015). El control químico de los gusanos trozadores se da en el Cuadro 3.



Figura 3. Larva de “gusano trozador” (*Agrotis* sp.). Fuente: Elaboración propia, 2021.

Pulga saltona (*Chaectonema confinis*)

Importancia y daños. Las larvas de la pulga saltona se alimentan de las raíces de las plantas, mientras que los adultos se alimentan principalmente de las hojas y de los tallos de las plantas (Figura 4), generando agujeros y pequeñas minas, lo cual disminuye la capacidad de desarrollo de los cultivos y el crecimiento de los frutos (AIMCRA, 2000).

Medidas de combate. El control de la pulga saltona se puede hacer con aspersiones de piretrinas naturales (PLM-DIPO, 2019); o bien, de insecticidas piretroides como cipermetrina o deltametrina (De Liñán, 2021). Para su control químico se recomiendan insecticidas piretroides, tales como cipermetrina, deltametrina y lambda cialotrina (Cuadro 3).



Figura 4. Adulto de pulga saltona (*Chaetocnema* sp.). Fuente: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/174388-Chaetocnema>. 2022.

Diabrotica (*Diabrotica* spp.)

Importancia y daños. Existen muchas especies del género *Diabrotica* que afectan a las hortalizas, entre las que se encuentra *D. balteata* (Reyes, 2005). Los adultos de *D. balteata* se alimentan de las hojas, y en ocasiones inflorescencias, de las plantas hospedantes, haciendo agujeros redondos de contornos irregulares, que en la mayoría de los casos no llegan al borde de las hojas y permiten identificar, por esas lesiones, la incidencia de la plaga (DGSV-CNRF, 2016). Cuando el ataque es intenso, los orificios se unen, provocando la pérdida de mayor área; otras especies de la misma familia poseen un patrón conductual muy similar (Méndez, 2007).

Medidas de combate. El control cultural consiste en realizar el barbecho después de la cosecha, lo cual ayuda a destruir los estados inmaduros como las larvas y pupas

(CESAVEM, 2015). Para el control biológico de las larvas y los adultos de diabrotica se recomienda la aplicación al suelo de hongos entomopatógenos como *M. anisopliae* y *B. bassiana* (CESAVEM, 2015; PLM-DIPO, 2019).



Figura 5. Adulto de “diabrotica o doradilla” (*Diabrotica balteata*). Fuente: <https://bugguide.net/node/view/1467068>. 2017.

Minador de la hoja (*Pegomya hyoscyami*)

Importancia y daños. Afecta a las Quenopodiáceas y, en especial, a las hojas de remolacha y espinaca, debido a las minas que realiza la primera generación larvaria (BASF, 2020). Las larvas de hacen un túnel en el mesófilo de las hojas formando minas (Figura 6), al principio son largas y angostas, pero eventualmente se convierten en un área irregular manchada.



Figura 6. Galería de minador en hoja de betabel rojo. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Eliminar las infestaciones tan pronto como aparezcan destruyendo las hojas dañadas. Realizar el acolchado del suelo para evitar la pupación de las larvas en invernadero. Utilizar trampas cromáticas amarillas para atrapar adultos. Como enemigos naturales sólo se ha citado algún himenóptero braconido parasitoide (*Opius sp*) (BASF, 2020). Las larvas se pueden matar con aplicaciones del insecticida microbiano *Bacillus thuringiensis* subesp. *israelensis* (Bti). El insecticida sistémico imidacloprid también elimina las larvas de minador (Cranshaw y Cloyd, 2009). Los insecticidas recomendados para el combate de moscas adultas son diflubenzuron, cyromazina y azadiractina (Rodríguez *et al*, 2005).

Gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*)

Importancia y daños. Las larvas se alimentan del follaje, produciendo agujeros irregulares de tamaño considerable, reduciendo el área foliar (Figura 7). Los primeros instares se alimentan respetando la epidermis superior de la hoja; mientras que, los últimos se alimentan sin afectar el borde de las hojas. Son muy voraces cuando alcanzan

su máximo desarrollo y su presencia se puede detectar, debido a que acumulan grandes cantidades de material fecal en el sitio de alimentación (Martínez-González *et al.*, 2006).



Figura 7. Gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*). Fuente:
https://www.ecured.cu/Gusano_falso_medidor. 2022.

Medidas de combate. La aplicación de insecticidas biológicos y de ingestión tiene eficacia alta de control, puesto que la voracidad en las hojas favorece que los productos sean consumidos por la plaga (Martínez-González *et al.*, 2006). También se pueden aplicar insecticidas botánicos a base de piretrinas naturales, extracto de canela y extracto de ajo, entre otros (PLM-DIPO, 2019).

Gusano defoliador (*Spodoptera exigua*)

Daños. Esta plaga se presenta en la época de primavera-verano, alimentándose del follaje y causando daños en la producción de azúcares al reducir el área foliar del betabel (Alvarado *et al.*, 2011) (Figura 8a y 8b).



Figura 8. Gusano defoliador (*S. exigua*) (a) y daños en el follaje de betabel (b). Fuente a y b: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Estas son las mismas que las recomendadas para el gusano falso medidor.

Pulgones (*Aphis fabae* y *Myzus persicae*)

Daños. El pulgón negro del haba (*Aphis fabae*) no es una plaga que produzca daños importantes en la planta de betabel, pero si puede producir disminución del producto. Las hembras llegan al cultivo durante el mes de mayo y se reproducen en él, formando colonias densas, especialmente en el cogollo de las plantas (Figura 9). A medida que la población de insectos aumenta, las colonias se van cubriendo de una mielecilla que las protege de los insecticidas. Frecuentemente permanecen en el cultivo hasta el final del ciclo, momento en el que aparecen nuevamente hembras aladas que emigran. Los pulgones producen daños directos, en caso de poblaciones altas e indirectos por transmisión del virus del amarilleo del betabel (BYV por sus siglas en inglés) (AIMCRA, 2000; Asaja Cádiz, 2020). Por otra parte, el pulgón verde (*Myzus persicae*) transmite más de 120 virus de forma natural (Nuez *et al.*, 2001).



Figura 9. Presencia de pulgón negro en el cogollo de remolacha. Fuente: <https://www.asajacadiz.org/2020/03/31/incidencias-plagas-y-enfermedades-46/>. 2020.

Medidas de combate. El pulgón negro es una plaga difícil de controlar. Se recomienda aplicar aficidas específicos como pirimicarb; el umbral económico es una colonia en 10 plantas (AIMCRA, 2000). Otros insecticidas sistémicos recomendados para su control, son: ciantraniliprol, dimetoato, flonicamid, ometoato y pyriproxifen, entre otros (Cuadro 3).

Babosas (*Limax spp.* y *Deroceras spp.*)

Daños. Las babosas son moluscos de cuerpo carnoso, cubiertas de sustancias pegajosas que al deslizarse por una superficie dejan una baba brillante; son parecidas a los caracoles, pero no tienen caparazón (Cañedo *et al.*, 2011). Estos moluscos terrestres son considerados plaga, debido a los daños que causan en los jardines, hortalizas y frutales producto de su alimentación “polífaga”; el daño a las plantas producto de su alimentación se ocasiona durante la noche (INIA, 2020). En betabel se ha observado

que tanto las larvas como los adultos, se alimentan de los tejidos del tubérculo, principalmente en sitios sombreados y con alta humedad del suelo (Figura 10).



Figura 10. Babosa atacando un tubérculo de betabel. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Entre las medidas de combate están la recolección manual de las babosas por la mañana, empleo de trampas con cebos envenenados y en caso necesario, hacer una aplicación de sulfato de cobre (Molina, 2000), o de metaldehído en pellets (Thomson-PLM, 2013).

Tuzas (*Thomomys umbricus* y *Geomys bursarius*)

Importancia y daños. La especie más importantes es la tuza mexicana (*Thomomys umbricus*), la cual está considerada como un complejo de especies que habita desde el sur de los Estados Unidos hasta el Eje Neovolcánico de México. Se alimenta tanto debajo como sobre la superficie del suelo (Wikipedia, 2021). Otra especie de importancia es la tuza de las praderas (*Geomys bursarius*) (Connior, 2009). La tuza es herbívora, su dieta está compuesta principalmente por partes subterráneas de las plantas, tales como bulbos, tubérculos, rizomas y raíces (Figura 11), los cuales los localiza al avanzar por

los túneles que cava en el subsuelo y devora en el mismo sitio, o los transporta a cámaras que funcionan como almacén (Wikipedia, 2021) (Figura 10).



Figura 11. Galería y raíz de betabel dañada por el ataque de tuza. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Lo primero es localizar las tuzas o montones de tierra de las madrigueras. Los montones de tierra de las tuzas tienen forma de herradura y la entrada por lo general está hacia un lado. Para su control se pueden emplear trampas o cebos rodenticidas (UCSF California Childcare Health Program, 2016). El control químico se hace colocando una o dos tabletas de fosforo de aluminio en el fondo de la madriguera, cubriéndolas con tierra para evitar que los vapores tóxicos se escapen (FAX México, s.f.).

Cuadro 3. Plaguicidas químicos, botánicos y biológicos recomendados para el control de plagas del tubérculo y follaje de betabel rojo.

Plaga	Producto comercial	Ingrediente activo/ agente de biocontrol	Dosis/ha	Intervalo de seguridad (días)
Gallina ciega	Balazo 5G	Diazinón	20-30 kg	35
	Meta Tron	<i>Metarhizium anisopliae</i>	240 g	0
	Bea Tron	<i>Beauveria bassiana</i>	240 g	0
Pulga saltona, diabrotica, gusano falso medidor y gusano defoliador	Orthene	Acefate	300 g	7
	Lannate 90	Metomilo	400-500 g	7
	Decis forte	Deltametrina	200-225 ml	1
	PHC Neem	Azaridactina	5 L	0
	Bralic	Extracto esencial de ajo	1-2 L	0
	Pirelium	Piretrinas naturales 1 y 2	50-150 ml	0
	Meta Tron	<i>Metarhizium anisopliae</i>	240 g	0
	Bea Tron	<i>Beauveria bassiana</i>	240 g	0
	Xen Tari	<i>Bacillus turingiensis</i>	0.75-1 kg	0
	Arrivo 200	Cipermetrina	400-500 ml	7
	Karate Zeon	Lambda cialotrina	200-400 ml	5
	Saf-T-Side	Aceite parafínico de petróleo	2-3 L	0
Minador de la hoja	Aza Direct	Azadiractina	1-3 L	0
	Trigard	Cyromazina	100-150 g	7
	Orthene	Acefate	300 g	7
	Rogor	Dimetoato	1-1.5 L	7
	Dimilin 2L	Diflubenzuron	250-300 ml	7

	Confidor 350	Imidacloprid	0.75-1 L	21
Pulgón negro y pulgón verde	Beleaf	Flonicamid	100-250 g	7
	Benevia	Ciantraniliprol	200-500 ml	3
	Confidor 350	Imidacloprid	0.5 L	21
	Folimat	Ometoato	400-600 ml	7
	Knack	Pyroproxifen	400-500 ml	7
	Pirimor	Pirimicarb	200-500 g	7
Babosas	Tapps'ó	Metaldehido	7-15 kg	10
Tuzas	Gran Quickphos	Fosfuro de aluminio	1-2 Tbs./madriguera	-

Fuente: DGSV, 1999; De Liñán, 2021; Thomson-PLM, 2013; PLM-DIPO, 2019; PLM-DEAQ, 2021.

3.1.8. Control de enfermedades

Dentro de las enfermedades que atacan al cultivo de betabel, están: “Ahogamiento de plántulas” (*Aphanomyces cochloides*, *Pythium* spp. y *Phoma betae*), “mildiu” (*Peronospora farinosa*), “marchitez vascular” (*Fusarium oxysporum*), “cenicilla polvorienta” (*Erysiphe betae*), “viruela de la hoja” (*Cercospora beticola*), “mancha foliar” (*Alternaria* sp.) y roya (*Uromyces fabae*) (Messiaen *et al.*, 1995; AIMCRA, 2000). En betabel también es atacado por “nematodos agalladores de la raíz”, principalmente *Nacobbus aberrans* (Tovar-Soto *et al.*, 2012) y *Meloidogyne incognita* (Medina-Molina *et al.*, 2018).

Ahogamiento de plántulas o pie negro

Síntomas. La enfermedad es ocasionada por varios hongos, pero los más comunes son *Aphanomyces cochloides*, *Pythium* spp. y *Phoma betae*. El principal síntoma de la enfermedad es el ennegrecimiento y estrangulamiento de la raíz a nivel del suelo y la pudrición puede extenderse hasta la base de los cotiledones de la plántula; finalmente produce marchitamiento y muerte de la plántula. Estos hongos también ocasionan damping-off pre-emergente, muerte del embrión de la semilla y fallas en la emergencia de las plántulas. *Aphanomyces* y *Pythium* son hongos que se encuentran en el suelo; mientras que, *Phoma* puede transmitirse por semilla, suelo y restos vegetales (AIMCRA, 2000).

Medidas de combate. Una vez que la enfermedad se presenta en el cultivo, los tratamientos químicos con fungicidas no funcionan. El tratamiento de la semilla con fungicidas como hymexazol y TMTB es muy eficaz. Existen varias medidas culturales para favorecer la nacencia de las plántulas y disminuir el daño de la enfermedad, entre las que están: aireación del suelo mediante una buena preparación del terreno, rotación

de cultivos, evitar siembras tardías y profundas, y prevenir encharcamientos (Ayala *et al.*, 2021).

Marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*)

Síntomas. Esta enfermedad se presenta normalmente al final del ciclo vegetativo del cultivo de betabel. Las plantas atacadas por el patógeno muestran un marchitamiento generalizado, el follaje se torna flácido y amarillento (Figura 12); al sacar las plantas del suelo, se observa una pudrición seca en la raíz principal y raíces secundarias (Messiaen *et al.*, 1995).



Figura 12. Marchitez vascular del betabel por *F. oxysporum*. Fuente: Elaboración propia, 2021

Medidas de combate. Dado que *F. oxysporum* es un hongo patógeno muy difícil de controlar, ya que produce esporas o clamidosporas de resistencia que pueden persistir en el suelo por muchos años (Agrios, 2013), se sugiere la rotación de cultivos por más

de cinco años, o bien, incorporar hongos y bacterias benéficos al suelo al momento de la siembra, tales como *Trichoderma* spp. o *Bacillus subtilis*, solos o en mezcla (PLM-DIPO, 2019).

Mildiu (*Peronospora farinosa*)

Síntomas. Los síntomas visibles de la enfermedad son manchas amarillentas en el haz de la hoja; estas manchas corresponden a un crecimiento veloso en el envés de la misma que son las estructuras reproductivas del patógeno (esporangióforos y esporangios), de ahí el nombre de “cenicilla velosa” (Agrios, 2013). En plantas jóvenes, el ataque se caracteriza por la invasión generalizada de la base de las hojas, que se cubren por completo de mildiu, estas se recubren de ampollas ocasionando un retraso en el crecimiento de la planta (Messiaen *et al.*, 1995) (Figura 13).



Figura 13. Síntomas de mildiu en la hoja de remolacha por *Peronospora farinosa*. Fuente: <https://www.aimcra.es/Publicaciones/Documentos/Otras/Enfermedades.pdf>. 2000.

Medidas de combate. En el combate de esta enfermedad, lo más recomendable es la aplicación de un fungicida químico poco residual como el azoxystrobin y productos a base de cobre como hidróxido cúprico, sulfato de cobre pentahidratado, gluconato de cobre u octanoato de cobre (De Liñán, 2021; PLM-DEAQ, 2021). También puede aplicar de forma preventiva un fungicida botánico a base de extracto de gobernadora (PLM-DIPO, 2019).

Cenicilla polvorienta (*Erysiphe betae*)

Síntomas. Esta enfermedad se caracteriza por sus signos que son la presencia de estructuras vegetativas y reproductivas del hongo causal (micelio, conidióforos y conidios); estos comienzan como manchas blanquecinas sobre el haz de las hojas, que al avanzar su crecimiento se unen e invaden completamente la lámina foliar. La presencia del hongo le da a la lesión una coloración blanca de consistencia polvosa como ceniza, de ahí el nombre de la enfermedad (Agrios, 2013) (Figura 14).



Figura 14. Cenicilla polvorienta (*E. betae*) en el follaje de betabel. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Para su control se recomienda la aspersión al follaje de fungicidas a base de azufre y cobre. Los fungicidas sistémicos recomendados para el control de la cenicilla polvorienta pertenecen al grupo químico de los triazoles (difenconazol, myclobutanil, propiconazol y tebuconazol) (Cuadro 4).

Viruela de la hoja (*Cercospora beticola*)

Síntomas. Es una enfermedad que se caracteriza por provocar pequeñas manchas redondas en las hojas que van de 2 a 5 mm de diámetro, pudiendo llegar a 1 cm. La mancha presenta un borde castaño oscuro o púrpura y halo clorótico (Figura 15). En el centro de la lesión puede haber presencia de un moho oscuro. Cuando numerosas manchas se unen se transforman en un tizón. El hongo también puede afectar pecíolos y tallos de plantas viejas. Las hojas inferiores son las que se enferman primero y las que resultan afectadas mayormente; la enfermedad puede ser grave en plantas adultas y en floración (AIMCRA, 2000).



Figura 15. Síntomas de viruela del betabel. Fuente: <http://www.empresaagraria.com/wp-content/uploads/2018/03/CercosporaOK-1024x683.jpeg>. 2018.

Medidas de combate. La viruela del betabel se previene con fungicidas protectivos de contacto como los derivados del cobre, clorotalonil, mancozeb, metitam y zineb, o con aplicaciones de fungicidas sistémicos, como: azoxystrobin, carbendazim y tiofanato metílico (Cuadro 4).

Mancha foliar (*Alternaria* sp.)

Síntomas. El hongo asociado con la mancha foliar es *Alternaria tenuis*, un patógeno secundario que ataca las hojas viejas o débiles por el ataque de hongos patógenos de la raíz. En las hojas afectadas se observan manchas pardas, de forma irregular y limitadas por las nervaduras; la necrosis avanza hacia el centro de la hoja hasta secarla por completo (AIMCRA, 2000). Sobre el tejido muerto se aprecia un polvo parduzco o negro que corresponde a las esporas del hongo (Agrios, 2013) (Figura 16).



Figura 16. Mancha foliar del betabel por *Alternaria* sp. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Medidas de combate. Si el daño lo amerita, asperjar al follaje fungicidas a base de cobre, mancozeb, metiram, zineb o azoxystrobin (De Liñán, 2021; PLM-DEAQ, 2021).

Roya del betabel (*Uromyces betae*)

Síntomas. A pesar de su amplia distribución geográfica, su impacto económico se considera menos importante que la cenicilla polvorienta y la viruela de la hoja. Esto se debe a su aparición tardía en el ciclo del cultivo. En algunas regiones puede causar ocasionalmente graves daños (Empresa Agraria, 2018). La roya se desarrolla en el haz y en el envés de las hojas en forma de pústulas ligeramente elevadas, circulares, dispuestas al azar o agregadas en forma de anillo; posteriormente, las pústulas se abre y en su interior se observan masas de esporas de color marrón-rojizo (AIMCRA, 2000) (Figura 17).



Figura 17. Roya del betabel (*Uromyces betae*). Fuente:
<http://www.empresaagraria.com/enfermedades-hoja-remolacha/>. 2016.

Medidas de combate. Una rotación de por lo menos dos años entre cultivos de betabel y evitar el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (Empresa Agraria, 2018). Cuando se presente la primera mancha, se sugiere aplicar un fungicida sistémico de la familia química SBI (triazoles) que tienen una eficacia de control muy alta (AIMCRA, 2000).

Agallas radiculares (*Nacobbus aberrans* y *Meloidogne incognita*)

Síntomas. Las agallas radiculares en betabel son ocasionadas por dos especies de fitonematodos: *Nacobbus aberrans* (Figura 18) y *Meloidogne incognita* (Figura 19), el primero se conoce como “falso nematodo agallador de la raíz” y el segundo como “nematodo agallador de la raíz” (Agrios, 2013). La presencia de estos nematodos causa alteraciones graves en la planta porque obstruyen el transporte de agua y nutrientes al resto de la planta, lo que ocasiona que el betabel presente síntomas como: Poco desarrollo de la parte aérea, marchitez parcial, deformación de la raíz y en algunos casos la muerte de las plantas, mismos que ocasionan pérdidas de consideración en los rendimientos del cultivo (Medina-Molina, 2013). Pero, los síntomas más característicos son la formación de abultamientos o agallas en la raíz principal y raíces secundarias de las plantas (Medina-Molina, 2018).

Medidas de combate. La forma más práctica de bajar las poblaciones de estos dos fitonematodos, es la aplicación al suelo de insecticidas-nematicidas o nematicidas químicos y orgánicos (Cuadro 4). Pero también se pueden emplear agentes de biocontrol, como los hongos benéficos *Trichoderma* spp. y *Paecilomyces lilacinus*, y la bacteria *Bacillus subtilis* (PLM-DIPO, 2019).



Figura 18. Agallas radiculares en betabel por el nematodo falso nodulador de la raíz (*Nacobbus aberrans*). Fuente: Elaboración propia, 2021.

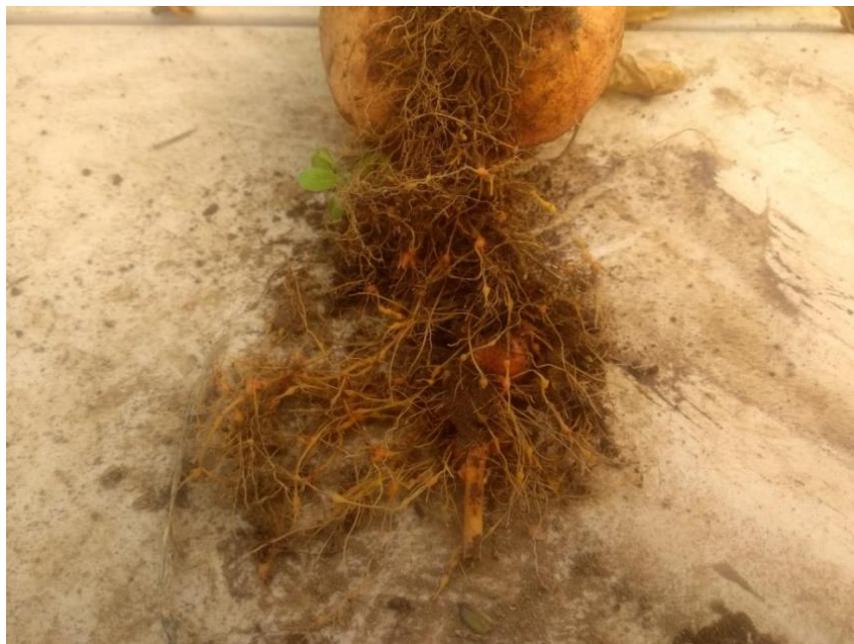


Figura 19. Agallas radiculares en betabel por el nematodo agallador de la raíz (*Meloidogyne incognita*). Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cuadro 4. Plaguicidas químicos, orgánicos y biológicos recomendados para el control de enfermedades de betabel rojo.

Enfermedad	Producto comercial	Ingrediente activo/ agente de biocontrol	Dosis/ha	Intervalo de seguridad (días)
Ahogamiento de plántulas (<i>Phytium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i>)	PHC T22	<i>Tricherma harzianum</i>	454-908 g	0
	PHC Root Mate	<i>Trichoderma virens</i>	454 g	0
Marchitez vascular (<i>Fusarium oxysporum</i>)	Cercobin-M	Tiofanato metílico	0.75-1 kg	14
	Prozycar	Carbendazim	0.5-1 kg	14
	Serenade	<i>Bacillus subtilis</i>	2.5-4 kg	0
	Trianium-P	<i>Trichoderma harzianum</i>	0.5 kg	0
Mildiu (<i>Peronospora farinosa</i>)	Amistar	Azoxystrobin	200-300 g	1
	Ridomil Bravo	Metalaxyl + Clorotalonil	2-2.5 kg	7
	Ridomil MZ	Metalaxil + Mancozeb	2-2.5 kg	7
	Ridomil Gold 480	Metalaxil-M (Mefenoxam)	1-1.5 L	7
	Revus	Mandipropamida	0.5-0.7 L	7
Cenicilla polvorienta (<i>Erysiphe betae</i>) y roya (<i>Uromyces betae</i>)	Amistar	Azoxystrobin	200-300 g	1
	Score	Difenconazol	0.4-0.5 L	7
	Folicur	Tebuconazol	0.5-0.75 L	7
	Saprol	Triforine	1-1.5 L	7
Viruela de la hoja (<i>Cercospora beticola</i>) y mancha foliar (<i>Alternaria</i> sp.)	Amistar	Azoxstrobina	350-500 g	1
	Prozycar	Carbendazim	200-300 g	7
	Bravo 720	Clorotalonil	1.5-2 L	14
	Manzate 200	Mancozeb	2-2.5 kg	7

	Polyram DF	Metiram	1.5-2 kg	7
	Oxicob 85	Oxicloruro de cobre	2-2.5 kg	0
	Antracol	Propineb	1.5-2 kg	7
Fitonematodos (<i>Meloidogyne incognita</i> y <i>Nacobbus aberrans</i>)	Nemacur 400	Fenamifos	6-8 L	15
	Vydate L	Oxamyl	2-4 L	15
	Verango Prime	Fluopyram	375-625 ml	3
	QL Agri 35	Extracto de quillay	6-10 L	0
	Majesty	Extractos vegetales	8-15 L	0

Fuente: DGSV, 1999; De Liñán, 2021; Thomson-PLM, 2013; PLM-DIPO, 2019; PLM-DEAQ, 2021.

3.1.9. Cosecha

Para determinar la época se cosecha se usan indicadores, principalmente el diámetro de la raíz (cuando presente un diámetro entre 8 a 10 cm), o el tiempo en días, 60-80 días para variedades precoces, 80-100 días para intermedias y 100-110 días para cultivares tardíos (FAX México, 2020).

3.1.10. Usos

Alimenticios: El betabel es un alimento muy nutritivo, usado como ingrediente en ensaladas, encurtidos, cremas, snacks, postres y jugos. Tiene un sabor dulce y terroso parecido al sabor del maíz. Es una excelente fuente de vitaminas (C y complejo B) y minerales (manganeso, hierro, fósforo, cobre y potasio) y ácido fólico. Es rico en antioxidantes y compuestos fitoquímicos como antocianinas, carotenoides, luteína y glicina. Además de su empleo como alimento, son una fuente importante de sacarosa, de ahí que se usen para elaborar azúcar refinado en varios países del mundo (Leyva, 2019).

Medicinales: Los tubérculos y las hojas del betabel se han empleado en la medicina tradicional para tratar una amplia gama de dolencias. Las hojas de betabel y acelga se consideran alimentos ricos en oxalato que están implicados en la formación de cálculos renales (Leyva, 2019).

El Betabel por naturaleza, presenta un color que va del rojo al púrpura intenso, coloración que se le atribuye a los pigmentos contenidos en este de forma natural en el tubérculo. Dichos pigmentos (betalaínas) se encuentran distribuidos en dos grupos: a) betacianinas; que dan lugar a una pigmentación rojo-violeta y b) betaxantinas; que tienen una coloración amarilla (Cuadro 5). Ambos grupos de moléculas son ópticamente activas, las betalaínas del tipo betaxantinas presentan su máxima absorción entre 480 nm y 485 nm, mientras que las betalaínas del tipo betacianinas

presentan su pico de máxima absorción en un intervalo de 534 a 554 nm (Azeredo, 2009).

Cuadro 5. Composición fitoquímica del betabel (*B. vulgaris*).

Clasificación	Compuestos
1. Betalainas	
1.1. Betaxantinas	Vulgaxantina I y Vulgaxantina II
1.2. Betacianinas	Betanina e Isobetanina
2. Conjugados de ácido ferúlico	5,5',6,6'-tetrahidroxi-3,3'-biindolil Feruloilglucosa y β -d-fructofuranosil- α -d-(6-O-(E) feruloilglucopiranosido)
3. Amidas fenólicas	N-trans-feruloiltiramina N-transferuloilhomovanililamina
4. Flavonoides	Betagarina, Betavulgarina, Coclofilin A y Dihidroisoramnetina

Fuente: González, 2016.

Las betalainas, son pigmentos hidrosolubles que existen como sales en las vacuolas de las células vegetales y son similares a las antocianinas en apariencia visual. Se encuentran sólo en 10 familias: Aizoaceae, Amaranthaceae, Basellanaceae, Cactaceae, Chenopodaceae, Didiereaceae, Holophytaceae, Nyctaginaceae, Phytolaccaceae y Portulacaceae. Al igual que las antocianinas, se acumulan en las flores, frutas y hojas que las sintetizan, principalmente en la epidermis y la subepidermis (Badui, 2006). La betaina y la betalaina son dos compuestos fitoquímicos que están en investigación básica por sus posibles propiedades medicinales (Leyva, 2019).

3.2. Fertilización química

La fertilización es un factor importante en el manejo de los cultivos agrícolas; está encaminada a lograr una adecuada nutrición como principio fundamental para alcanzar los máximos rendimientos comerciales por unidad de superficie (Luna *et al.*, 2016). La nutrición forma parte importante del manejo agronómico de los cultivos, aporta los nutrimentos en situaciones en las cuales el suelo no puede suministrarlos en su totalidad. La fertilización del suelo puede ser de dos tipos: inorgánica y orgánica; la primera consiste en aportar los nutrimentos mediante la aplicación de fertilizantes químicos, de tal manera que puedan ser absorbidos por las plantas, y la segunda radica en proporcionar los nutrientes al suelo por medio de la materia orgánica, la cual ser de origen vegetal o animal (Escalante *et al.*, 2006).

La fertilización tiene como objetivo principal lograr que la planta exprese su máximo potencial productivo para obtener una alta rentabilidad y conseguir con esto una alta producción del cultivo. La fertilización química consiste en alimentar a las plantas directamente mediante la aplicación de fertilizantes producidos industrialmente que reúnen condiciones técnicas de calidad como proveedores de nutrimentos a los cultivos; son sales solubles, altamente concentrados, de fácil y rápida liberación (Gaspar y Alfaro, 1997).

Un fertilizante químico es un producto elaborado que contiene cantidades sustanciales de uno o más de elementos esenciales primarios. El proceso de producción industrial implica generalmente reacciones químicas, pero también puede consistir simplemente en la refinación de las fuentes de fertilizantes naturales, como es el caso del cloruro de potasio. Actualmente, la mayoría de los países aceptan que los contenidos nutricionales de los fertilizantes químicos se expresan en términos de nitrógeno elemental (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O). Los elementos secundarios y los microelementos se citan generalmente en términos de base elemental; sin embargo, el calcio y el magnesio son expresados frecuentemente como óxidos (Guerrero, 2004).

Las exigencias nutricionales del betabel son elevadas, ya que se debe considerar el ciclo vegetativo de crecimiento largo para optimizar el nitrógeno (Marchetti y Castelli, 2011). Este cultivo exige por un lado fuentes disponibles y asimilables rápidamente, y por el otro nutrientes de acción prolongada y persistentes en el suelo (Hergert, 2010). El exceso de nitrógeno aumenta el desarrollo foliar, pero disminuye la capacidad de movilización de los azúcares hacia la raíz. El fósforo no solo acelera el desarrollo durante la primera etapa del cultivo, también mejora el contenido de sacarosa; la eficacia del fósforo se manifiesta principalmente en las etapas jóvenes de la planta. (InfoAgro, 2017).

El potasio es uno de los nutrimentos más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, osmorregulación, actividad estomática, transferencia de energía, transporte en el floema, equilibrio anión-cation y resistencia al estrés biótico y abiótico (INTAGRI, 2017a).

El boro es uno de los micro elementos más importantes en la fertilización de betabel (InfoAgro, 2017). Es importante en la nutrición de las plantas, ya que estas lo requieren abundantemente cuando el crecimiento en peso de las hojas es más alto y durante la floración. También tiene un efecto positivo en el cuajado de frutos y en el proceso de formación de la semilla. En la raíz, el boro es fundamental para la elongación de las células y división celular, condición importante para el crecimiento de las plantas (Alarcón, 2001). Además, el boro influye en la producción compuestos fenólicos como las antocianinas que le dan color a las flores y raíces de las plantas, principalmente (Singh *et al.*, 2012).

En cuanto a la fertilización química de betabel se recomienda la fórmula 120N-60P-00K. Se sugiere fraccionar el nitrógeno en dos aplicaciones, ya que altas concentraciones de

este nutriente disminuye la coloración del tubérculo y el contenido de azúcares (FAX México, 2020). Aunque InfoAgro (2017), señala que la fertilización óptima para la nutrición del cultivo es una relación de 1N-0.8P-1.2K (100-80-120); como complemento recomienda la aplicación de 20 kg de Borax para la aportación de boro.

En el caso de la remolacha azucarera que pertenece al mismo género y especie que betabel, existe gran diversidad de dosis en la fertilización inorgánica basada en N-P-K. En áreas tradicionales de Europa, la fertilización oscila entre los valores de N (100-200), P (65-160) y K (40-290). En la región superior del medio oeste de Estados Unidos, la fertilización es de 85-65-15 y en la región de los Grandes Lagos es de 100-65- 220. En otras regiones donde el cultivo no es común como en Japón, la dosis de fertilización es de 171-315-160 y en Marruecos de 240-120-250 (Christenson y Draycott, 2007).

Otros investigadores mencionan que las dosis reportadas de nitrógeno para la remolacha azucarera varían en un rango de 110 a 220 kg.ha⁻¹ y una máxima de 495 kg.ha⁻¹ (Tsialtas y Maslaris, 2008; Hergert, 2010; DeBruyn *et al.*, 2017). En nuestro país el INIFAP recomienda 100 kg.ha⁻¹ de nitrógeno y 70 kg.ha⁻¹ de fósforo para el cultivo de remolacha en el Valle de Mexicali, Baja California (Alvarado *et al.*, 2011); también se ha reportado la fórmula 150N-75P-00K para la zona agrícola de General Terán, Nuevo León (Pinales *et al.*, 2012).

Robles (2015), evaluó la respuesta de betabel a diferentes dosis de fertilización química y condiciones ambientales (campo y macro túnel). El mayor rendimiento de tubérculos y follaje se obtuvo con la dosis 80-40-00 en condiciones de campo abierto, y dedujo que el K no influyó en el rendimiento; pero, a mayores dosis de N, el rendimiento se redujo. Sin embargo, al incrementar las dosis de N e incluir K se incrementó el peso y diámetro de tubérculo, grados brix y contenido de betalainas. En condiciones protegidas, el rendimiento de tubérculos y follaje se vio favorecido bajo macro túnel con la dosis 80-40-80.

Montes *et al.* (2019), estudiaron el efecto de la fertilización química en remolacha variedad EBO809 (medianamente rica en azúcar). Se aplicaron 13 tratamientos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), incluyendo el testigo sin fertilización: 150-00-00, 150-100-00, 150-200-00, 200-00-00, 200-150-00, 200-200-00, 250-00-00, 250-100-00, 250-150-00, 250-200-00, 300-00-00, 300-150-00 y 300-200-00. Urea y superfosfato de calcio triple se usaron como fuentes de nitrógeno y fósforo. La primera aplicación fue con el 50% de urea y el 100% de superfosfato de calcio triple, antes de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó 30 días después de ésta. No hubo diferencias en el rendimiento entre las dosis de fertilización N-P, aunque fueron superiores respecto al testigo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2021-2022, en un macro túnel rústico ubicado en “El Islote”, Villa Guerrero, Estado de México. Este municipio es esencialmente rural y tiene una superficie de 210,535 km². Limita al norte con Toluca, Tenango del Valle y Tenancingo; al sur con Ixtapan de la Sal; al este con Tenancingo y Zumpahuacán, y al oeste con Coatepec Harinas y Toluca (Guadarrama, 1999). El sitio experimental se localiza a 18° 58' 14" latitud norte, 99° 39' 38" longitud oeste y 2,217 msnm.

El clima predominante de Villa Guerrero es el templado subhúmedo con lluvias en verano y un invierno benigno. La temperatura máxima es de 39°C y la mínima de 2°C; la temperatura media en el mes más frío oscila entre -3 a 13°C, y la media anual es de alrededor de 18°C. Según el sistema de clasificación climática de Köppen este clima se considera de tipo CW. La temporada de lluvias inicia a finales del mes de abril, pero suele interrumpirse durante el mes de mayo y continúa durante los meses de junio y julio, disminuyendo en agosto y septiembre; la precipitación media anual es de 1,242.53 mm (INAFED, 2021).

4.2. Material vegetal

En la siembra de la parcela experimental se usó semilla de betabel cv. Bettollo F1 de la Empresa Bejo México. Bettollo F1 es un híbrido de betabel muy productivo, de follaje erecto, sano y resistente al manejo; el tubérculo es de excelente color rojo interno y externo, de tamaño grande, liso sin anillos blancos internos, resistente a la sobre madurez en campo, sin deformarse. El ciclo de este híbrido de betabel es de 80 a 90 días bajo condiciones ambientales adecuadas (Bejo México, 2018) (Figura 20).



Figura 20. Plantas de betabel cv. Bettollo F1. Fuente: <https://www.bejo.com.mx/betabel/bettollo-f1>, 2018.

4.3. Diseño experimental y tratamientos

El trabajo se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 6 tratamientos (cuatro dosis de fertilización química más boro, una dosis de fertilización química para cultivos comerciales de betabel y un testigo), 5 repeticiones y 30 unidades experimentales de 3 m² (Cuadro 6 y Figura 21). Las unidades experimentales se distribuyeron en cinco camas de plantación de 21 m de largo por 1.0 m de ancho, 20 cm de alto y pasillos de 50 cm de ancho. Los fertilizantes comerciales que se usaron para conformar los tratamientos de fertilización química de betabel rojo, fueron: Fosfato diamónico (DAP 18-46-00), Fosfonitrato (33-3-00), Cloruro de potasio (00-00-60), Tropicote (15.5-00-00 + 26.3 Ca) y Ácido bórico (17.5 B).

Cuadro 6. Tratamientos de fertilización evaluados para la nutrición química de betabel rojo en condiciones de macro túnel en Villa Guerrero, México y costo de las dosis.

Tratamiento	N	P	K	Ca	B	Costo/ha (\$)
1	100	60	80	40	04	8,409,80
2	100	70	100	50	06	9,129.90
3	100	80	120	60	08	11,028.20
4	100	90	140	70	10	12,320.70
5	100	70	00	00	00	4,703.00
6	00	00	00	00	00	0.00

Repetición 1	T1	T4	T2	T5	T3	T6
Repetición 2	T6	T2	T5	T4	T1	T3
Repetición 3	T4	T5	T3	T6	T2	T1
Repetición 4	T2	T3	T6	T4	T1	T5
Repetición 5	T5	T6	T3	T1	T4	T2

Figura 21. Croquis de distribución de los tratamientos de fertilización química de betabel rojo en la parcela experimental.

4.4. Establecimiento del experimento

Una semana antes de la siembra se hizo la limpieza del terreno, preparación del suelo y conformación de cinco camas de plantación con azadón. Luego se colocó el sistema de riego (cuatro cintillas para riego por goteo), y después se practicó un riego pesado para humedecer el suelo y hacer la siembra. La siembra se realizó después de la aplicación de la primera fertilización, sobre suelo húmedo en cuatro hileras sobre el lomo de la cama, con una separación de 20 cm entre líneas y 10 cm entre plantas. La primera

fertilización se hizo tres días antes de la siembra, aplicando todo el fósforo, la mitad del nitrógeno, potasio, calcio y boro (Figura 22a). En la segunda fertilización realizada a los 45 días de la primera, se aplicó el resto del nitrógeno, potasio, calcio y boro (Figura 22b).



Figura 22. Primera (a) y segunda (b) aplicación de los tratamientos de fertilización química. Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.5. Conducción del experimento

Se practicaron riegos durante todo el ciclo del cultivo, una o dos veces por semana dependiendo de la disponibilidad de agua en la zona, humedad del suelo y requerimientos de las plantas. La maleza se controló de forma manual con azadón; mientras que, la prevención y control de plagas y enfermedades de la raíz, tallo y follaje, se hizo con aplicaciones periódicas de productos químicos y botánicos recomendados para el cultivo de betabel (Cuadro 7).

Cuadro 7. Productos químicos y botánicos aplicados para la prevención y control de plagas y enfermedades de betabel rojo en Villa Guerrero, México.

Producto comercial	Ingrediente activo/ agente de biocontrol	Dosis/L de agua	Plaga o patógeno que controla
Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina	0.5 ml	Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> spp.), gusanos trozadores (<i>Agrotis</i> sp., <i>Feltia</i> sp. y <i>Prodenia</i> sp.), mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) y pulgones (<i>Myzus persicae</i>).
Ampligo	Lambda cialotrina	1.0 ml	Gusano defoliador (<i>Spodoptera</i> spp.) y gusano falso medidor <i>Trichoplusia ni</i> .
PHC Bug-balancer	Extracto de ricino	2.5 ml	Gusano defoliador (<i>Spodoptera</i> spp.), gusano falso medidor <i>Trichoplusia ni</i> , mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) y pulgones (<i>Myzus persicae</i>).
Velonil	Clorotalonil	2.0 g	Mildiu (<i>Peronospora destructor</i>) y mancha foliar (<i>Alternaria</i> sp. y <i>Cercospora</i> sp.).
Oxicob 85	Oxicloruro de cobre	3.0 g	Mildiu (<i>Peronospora farinosa</i>) y mancha foliar (<i>Alternaria</i> sp. y <i>Cercospora</i> sp.).
Promyl	Benomilo	1.0 g	Pudrición de la raíz y corona (<i>Fusarium</i> spp., <i>Verticillium</i> spp. y <i>Rhizoctonia solani</i>).
Amistar 50	Azoxystrobin	0.5 g	Mancha hundida (<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Tielavipsis baticola</i> y <i>Pythium</i> spp.), mildiu (<i>Peronospora destructor</i>), y mancha foliar (<i>Alternaria</i> sp. y <i>Cercospora</i> sp.).
Tokat MZ	Metalaxyl + Mancozeb	2.5 g	Mildiu (<i>Peronospora farinosa</i>).

4.6. Variables de estudio

Al final del ciclo vegetativo del cultivo, se tomó una muestra de 10 plantas por tratamiento, seleccionadas al azar de las dos líneas centrales de cada unidad experimental. A estas plantas se les determinaron las siguientes variables agronómicas:

Altura de planta. Con un flexómetro se midió en cm desde la base hasta el ápice de la hoja más grande de cada planta (Figura 23a).

Longitud de raíz. Se consideró la longitud en cm desde la unión de la raíz principal con las hojas hasta la punta de la misma y se midió en cm con un flexómetro (Figura 23b).



Figura 23. Determinación de altura de planta (a) y longitud de raíz (b) de betabel rojo. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Número de hojas por planta. Se contaron las hojas verdaderas de cada una de las plantas consideradas para altura.

Diámetro polar de tubérculo. Con la ayuda de una regla graduada se determinó el diámetro en cm de la parte polar de cada uno de los tubérculos de las plantas seleccionadas (Figura 24).



Figura 24. Determinación de diámetro polar del tubérculo de betabel rojo. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Peso fresco de tubérculo, follaje y planta. Se determinó el peso en fresco del tubérculo y follaje (hojas), empleando una balanza granataria marca Ohaus de 2,600 g de capacidad (Figura 25a-b). El peso total de la planta resultó de la suma de peso fresco de tubérculo y de hojas.

Peso seco de tubérculos, follaje y planta. Las muestras de tubérculo y follaje de las plantas de betabel rojo se cortaron en pequeños trozos de 2 cm de longitud aproximadamente. Se pusieron a deshidratar en una estufa de secado a una temperatura de $55 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 7 días. Al cabo de ese tiempo se determinó el peso seco en g en una balanza digital marca Adam PGW 4502e de 4,500 g de capacidad. El peso seco de planta se obtuvo mediante la suma del peso seco de tubérculo más el peso seco de follaje.



Figura 25. Determinación de peso fresco de tubérculo (a) y follaje (b) de betabel rojo. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Rendimiento. Se cosecharon los tubérculos de todas las plantas de las dos hileras centrales de cada unidad experimental, se pesaron en una balanza digital marca Torrey de 40 kg de capacidad (Figura 26); el peso obtenido de la muestra se extrapolo a rendimiento total de tubérculos en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

4.7. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA), empleando el paquete estadístico InfoStat para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos (Di Renzo *et al.*, 2015). La comparación de promedios de las variables agronómicas se hizo por medio de la prueba de LSD Fisher al 5% de probabilidad de error (Steel y Torrie, 1986), para encontrar el mejor tratamiento de fertilización química en el incremento del rendimiento y calidad de tubérculos de betabel rojo.



Figura 26. Determinación de peso en fresco de tubérculos de betabel cosechados por tratamiento.
Fuente: Elaboración propia, 2022.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Altura de planta y número de hojas

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos de fertilización química y el testigo para altura de planta y número de hojas por planta; tampoco hubo diferencias estadísticas ($P \geq 0.05$) entre bloques para altura de planta, pero si existieron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) en número de hojas por planta (Cuadro 8).

Cuadro 8. Significancia estadística de los valores de F de altura y número de hojas por planta del estudio de fertilización química de betabel rojo.

Fuentes de variación	G. L.	Altura de planta	Número de hojas
Bloques	4	0.52 NS	2.89*
Tratamientos	5	1.79 NS	2.34 NS
Error	20		
Total	29		
C. V. (%)		5.77	13.91

NS, No significativo ($P \leq 0.05$); *Significativo ($P \geq 0.05$).

Aun cuando no se observaron diferencias estadísticas significativas en altura de planta de betabel rojo, numéricamente el tratamiento 2 (100N-70P-100K-50Ca-6B) presentó plantas con altura promedio de 58.82 cm, ligeramente mayor al resto de los tratamientos químicos y testigo (53.12 cm); el resto de los tratamientos de nutrición química tuvieron plantas con mayor altura que el testigo. También en número de hojas por planta, todos los tratamientos de fertilización química superaron al testigo; sin embargo, sobresalieron los tratamientos 2, 3 (100N-80P-120K-60Ca-8B) y 4 (100N-90P-140K-70Ca-10B), los cuales tuvieron un efecto estadísticamente igual sobre esta característica morfológica de la planta (Cuadro 9). Estos resultados concuerdan con los

reportados por Aquino y Valdez (2018) en zanahoria morada, los cuales demostraron que los tratamientos de fertilización química complementada con boro tuvieron un efecto positivo sobre la altura de planta y número de hojas. También Ávila (2014), logró el aumento de la altura de planta de rábano con la fertilización química a base de macro nutrimentos más boro.

Cuadro 9. Valores promedio de altura y número de hojas por planta y tratamiento del estudio de nutrición química de betabel rojo.

Tratamiento/dosis	Altura de planta (cm)	Número de hojas
1. 100N-60P-80K+40Ca+04B	55.46 ab	28.58 ab
2. 100N-70P-100K+50Ca+06B	58.82 a	33.10 a
3. 100N-80P-120K+60Ca+08B	55.09 ab	31.94 a
4. 100N-90P-140K+70Ca+10B	56.74 ab	32.48 a
5. 100N-70P-00K	55.04 ab	28.04 ab
6. Testigo	53.12 b	26.06 b

LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

5.2. Longitud de raíz y diámetro polar del tubérculo

Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos de fertilización química y el testigo en longitud de raíz y diámetro polar de tubérculo de betabel; en cambio, existieron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre bloques para longitud de raíz y no se encontraron diferencias estadísticas entre bloques en diámetro polar de tubérculo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Significancia estadística de los valores de F de longitud y diámetro polar de tubérculo del estudio de nutrición química de betabel rojo.

Fuentes de variación	G. L.	Longitud de raíz	Diámetro polar del tubérculo
Bloques	4	3.76*	2.56 NS
Tratamientos	5	5.73**	17.54**
Error	20		
Total	29		
C. V. (%)		4.81	5.63

NS, No significativo ($P \geq 0.05$); *Significativo ($P \leq 0.05$); **Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Tanto en longitud de raíz como en diámetro polar de tubérculo de betabel, el tratamiento 4 (100N-90P-140K-70Ca-10B) fue mejor que los otros tratamientos de fertilización química y el testigo; le siguieron los tratamientos T3 y T2 que mostraron el mismo efecto en ambas variables agronómicas. Aunque, la fertilización química tuvo un efecto significativo en longitud de raíz y diámetro polar del tubérculo y todas las dosis superaron al testigo, los tratamientos que incluyeron al potasio, calcio y boro fueron superiores a la fertilización comercial carente de estos nutrientes (Cuadro 11). Al respecto Aquino y Valdez (2018), concluyeron que los tratamientos de fertilización química complementada con calcio y boro tuvieron un efecto positivo sobre la longitud y diámetro de raíz de zanahoria morada. Alarcón (2001) y Singh *et al.* (2012), señalan la importancia del B junto con el K y Ca en sistema radical de las plantas, ya que este micro elemento es esencial para el crecimiento de los tubérculos al participar en la división y elongación celular.

Cuadro 11. Valores promedio de longitud y diámetro polar de tubérculo por tratamiento del estudio de nutrición química de betabel rojo.

Tratamiento/dosis	Longitud de raíz (cm)	Diámetro polar del tubérculo (cm)
1. 100N-60P-80K+40Ca+04B	26.27 ab	8.81 b
2. 100N-70P-100K+50Ca+06B	26.57 ab	9.27 ab
3. 100N-80P-120K+60Ca+08B	26.08 ab	8.97 ab
4. 100N-90P-140K+70Ca+10B	27.57 a	9.59 a
5. 100N-70P-00K	25.20 bc	8.03 c
6. Testigo	23.66 c	7.11 d

LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

5.3. Peso fresco de tubérculo, follaje y planta

Existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos de fertilización química y el testigo en peso en fresco de tubérculo, follaje y planta de betabel; no hubo diferencias estadísticas ($P \geq 0.05$) entre bloques para estos tres componentes de rendimiento del cultivo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Significancia estadística de los valores de F de peso fresco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Fuentes de variación	G. L.	Peso fresco de tubérculo	Peso fresco de follaje	Peso fresco de planta
Bloques	4	1.96 NS	1.02 NS	1.09 NS
Tratamientos	5	17.98**	5.79**	14.68**
Error	20			
Total	29			
C. V. (%)		12.59	14.29	11.45

NS, No significativo ($P \geq 0.05$); **Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Como se puede apreciar en el Cuadro 13 los cinco tratamientos de fertilización química tuvieron un efecto diferencial sobre el peso fresco de tubérculo, follaje y planta de betabel rojo, pero todos superaron significativamente al testigo; el tratamiento 4 presentó mayor peso fresco en los tres componentes de rendimiento. Sin embargo, en peso fresco de follaje, el tratamiento 2 tuvo un efecto estadísticamente igual al 4. En los tres componentes de rendimiento, los cuatro tratamientos de fertilización química que incluyen al K, Ca y B superaron significativamente al tratamiento de fertilización química recomendado por el INIFAP, el cual adolece de estos tres elementos nutritivos (Alvarado *et al.*, 2011).

Cuadro 13. Valores promedio de peso fresco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Tratamiento/dosis	Peso fresco de tubérculo (g)	Peso fresco de follaje (g)	Peso fresco de planta (g)
1. 100N-60P-80K+40Ca+04B	388.33 b	419.52 ab	807.85 b
2. 100N-70P-100K+50Ca+06B	410.31 ab	457.23 a	867.55 ab
3. 100N-80P-120K+60Ca+08B	411.13 ab	411.24 ab	822.37 ab
4. 100N-90P-140K+70Ca+10B	469.81 a	464.61 a	934.42 a
5. 100N-70P-00K	311.56 c	369.40 bc	680.96 c
6. Testigo	216.93 d	297.95 c	514.87 d

LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Aquino y Valdez (2018) y Ávila (2014), los cuales encontraron que la nutrición química de la zanahoria morada y rábano, basada en la aportación de K, Ca y B, incrementó el peso fresco de la planta y sus componentes.

5.4. Peso seco de tubérculo, follaje y planta

En peso seco de tubérculo, follaje y planta, hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos de nutrición química y el testigo; pero, no se observaron diferencias estadísticas ($P \geq 0.05$) entre bloques para estos tres componentes del rendimiento (Cuadro 14). Se observó el mismo comportamiento de los valores promedio de peso seco de la planta de betabel y sus componentes que el que se presentó en peso fresco (Cuadro 15).

Cuadro 14. Significancia estadística de los valores de F de peso seco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Fuentes de variación	G. L.	Peso seco de tubérculo	Peso seco de follaje	Peso seco de planta
Bloques	4	2.16 NS	0.94 NS	1.48 NS
Tratamientos	5	17.85**	5.63**	16.65**
Error	20			
Total	29			
C. V. (%)		12.83	14.14	11.18

NS, No significativo ($P \leq 0.05$); **Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

5.5. Rendimiento en fresco de tubérculos

En rendimiento en fresco de tubérculos, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos de fertilización química y el testigo; no se observaron diferencias estadísticas ($P \geq 0.05$) entre bloques para esta variable agronómica (Cuadro 16).

Cuadro 15. Valores promedio de peso seco de tubérculo, follaje y planta por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Tratamiento/dosis	Peso seco tubérculo (g)	Peso seco de follaje (g)	Peso seco de planta (g)
1. 100N-60P-80K+40Ca+04B	38.83 b	25.17 ab	64.01 b
2. 100N-70P-100K+50Ca+06B	41.03 ab	27.43 ab	68.78 ab
3. 100N-80P-120K+60Ca+08B	41.11 ab	24.66 ab	65.78 b
4. 100N-90P-140K+70Ca+10B	46.98 a	27.88 a	74.86 a
5. 100N-70P-00K	31.60 c	22.95 b	54.55 c
6. Testigo	21.69 d	17.88 c	39.57 d

LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Cuadro 16. Significancia estadística de los valores de F de rendimiento en fresco de tubérculos por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Fuentes de variación	G. L.	Rendimiento de tubérculos
Bloques	4	1.96 NS
Tratamientos	5	17.98**
Error	20	
Total	29	
C. V. (%)		12.89

NS, No significativo ($P \geq 0.05$); **Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Al igual que en peso fresco de tubérculo, los cinco tratamientos de fertilización química tuvieron un efecto superior al testigo e influyeron en el rendimiento del cultivo; el mejor tratamiento fue la dosis más alta de fertilizante químico (T4), seguido de los tratamientos 3 y 2. Los mejores tratamientos superaron ampliamente en rendimiento al testigo con 30,492.37, 23,415.83 y 23,316.67 kg.ha⁻¹, respectivamente. También rebasaron significativamente el rendimiento obtenido con la dosis de fertilización

comercial con 19,097.37, 12,020.83 y 11,921.67 kg.ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 17). Definitivamente, el peso fresco de tubérculo influyó claramente en rendimiento final del cultivo de betabel rojo.

Cuadro 17. Valores promedio de rendimiento en fresco de tubérculos por tratamiento de nutrición química de betabel rojo.

Tratamiento/dosis	Rendimiento total de tubérculos (kg.ha ⁻¹)
1. 100N-60P-80K+40Ca+04B	46833.00 b
2. 100N-70P-100K+50Ca+06B	49483.52 ab
3. 100N-80P-120K+60Ca+08B	49582.68 ab
4. 100N-90P-140K+70Ca+10B	56659.22 a
5. 100N-70P-00K	37561.85 c
6. Testigo	26166.85 d

LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Arias y Arnaude de Chacón (2010), Ávila (2014), Aquino y Valdez (2018), Abreu *et al.* (2018), quienes concluyeron que la fertilización química incrementó el rendimiento de tubérculos de papa, tubérculos de rábano, raíces de zanahoria morada y frutos de chile, respectivamente. Sin embargo, contrastan con lo reportado por Robles (2015), ya que en su estudio de fertilización química de betabel observó que la nutrición inorgánica no contribuyó en el rendimiento del cultivo de betabel.

Los nutrimentos minerales son esenciales para el crecimiento, supervivencia y éxito reproductivo de las plantas (Reid, 2001). El Ca y el B son fundamentales para reforzar la estructura celular de la planta (Cakmak y Romheld, 1997; Cosgrove, 2005), engrosando la pared celular (Singh *et al.*, 2010). En el sistema radicular de las plantas, el B es esencial para el crecimiento de los tubérculos al participar en el incremento del número de células y la elongación celular (Alarcón, 2001); junto con el K y Ca

incrementa el rendimiento de raíces tuberosas y tubérculos de las plantas (Demiray y Dereboylu, 2006; Singh *et al.*, 2012). En esta investigación el mejor tratamiento de fertilización química fue con la dosis más alta de fósforo, potasio, calcio y boro. Los tubérculos de betabel crecieron bastante y a pesar de ello no presentaron corazón hueco ni agrietamiento de la epidermis. Esto se debió probablemente al efecto del boro, el cual es un micro nutrimento que mejora y potencializa el efecto del fósforo en el llenado de raíces y tubérculos (Alarcón, 2001).

El agregar calcio suplementario acelera hasta en un 100% la velocidad con que las plantas absorben el amonio. A medida que una parte del amonio se convierte en nitrato, el Ca previamente precipitado se vuelve a solubilizar gradualmente, aumentando la concentración del calcio soluble disponible que aumenta el rendimiento. El aumento en la capacidad de absorción de amonio provocado por el Ca tiene resultados interesantes. La fotosíntesis aumenta y la planta absorbe cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que aumenta los componentes orgánicos básicos de la planta (Feagley y Fenn, 2019).

En betabel y cebolla, se observó que 30 horas después de la aplicación de Ca, los tubérculos de betabel y bulbos de cebolla aumentaron de peso hasta un 50% más que los bulbos sembrados con nitrato (sin amonio). Sin embargo, el peso de la planta completa no aumentó tanto como el del tubérculo y bulbo, lo que significa que el Ca promueve que los compuestos carbonados se depositen desproporcionadamente en los tubérculos y bulbos (Feagley y Fenn, 2019).

El crecimiento del sistema radicular depende del Ca, ya que en ausencia de este elemento, el crecimiento de las raíces se detiene en pocas horas al igual que el B. Este fenómeno ocurre porque tanto el Ca como el B son elementos que no se transportan por floema; por esta razón, aun cuando la planta contenga estos elementos, es incapaz de transportarlos hasta la raíz. Asimismo, el crecimiento de la raíz está condicionado

por el pH (INTAGRI, 2017b). Por lo anterior, el Ca debe aplicarse en mayor concentración en el punto medio de crecimiento cuando el pH es bajo para poder contrarrestar el efecto adverso de las altas concentraciones de Al y suelos ácidos sobre el crecimiento de las plantas (INTAGRI, 2017b; Feagley y Fenn, 2019).

El boro es un componente estructural y estabilizador de la pared celular, por lo que resulta esencial para que dicha pared tenga una estructura química y física que permita su crecimiento. En ausencia de cantidades suficientes de boro, la pared celular se torna porosa e interrumpe los procesos bioquímicos normales, y también se rigidiza, lo que restringe la expansión celular que es la base para el crecimiento. En consecuencia, el boro cumple una función importante sobre la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares (Brown, 2007).

Como el B actúa en la formación de la pectina en la membrana celular, su presencia es muy importante en los puntos donde ocurre una intensa división celular, como los ápices vegetativos. También participa en la formación de floema, desarrollo de los frutos, flores y raíces, germinación del polen, absorción de agua y metabolismo de los glúcidos. Es imprescindible para la absorción, transporte y metabolismo de cultivos, especialmente del calcio (Sosa, 2000). El Boro es requerido primeramente para la elongación de las células y luego para la división de las mismas (Callejas, 2003); esto da como consecuencia mayor desarrollo radicular, estructura sin deformaciones y tubérculos de mayor tamaño (Palma, 2019).

Existe sinergismo entre las absorciones de boro con macro y micro elementos, como calcio, fósforo, potasio, magnesio y zinc, siempre y cuando estos nutrimentos no estén en exceso en el suelo (Palma, 2019). El calcio y el boro son nutrimentos de vital importancia para el desarrollo de las yemas apicales y de las puntas de las raíces. Sin estos nutrimentos se paraliza el crecimiento de nuevos brotes y de nuevas raíces

(Catalá, 2005). En el desarrollo normal de la planta debe haber un balance adecuado calcio/boro y potasio/boro (Bonilla *et al.*, 1994).

A medida que se aumenta la concentración de boro y calcio como solución nutritiva en las raíces, se observan incrementos de los sistemas radiculares. La absorción de potasio aumenta con la presencia de boro; por el contrario, casi no ocurre absorción de potasio en ausencia de boro. Es decir, existen muchos casos de deficiencia aparente de potasio que pueden ser deficiencias de Boro (Palma, 2019). El sinergismo que existe entre el potasio, calcio y boro, no solo aumenta el rendimiento de tubérculos sino que mejora sustancialmente la calidad del producto al evitar el rajeteado que pudieron haber provocado las dosis elevadas de nutrimentos como el nitrógeno (Yfran *et al.*, 2017).

6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que desarrolló la presente investigación, se concluye lo siguiente:

1. La fertilización química de betabel rojo complementada con potasio, calcio y boro aumentó el número de hojas por planta, longitud de raíz, diámetro polar de tubérculo; así como el peso fresco y seco de tubérculo, follaje y planta, con respecto al tratamiento de fertilización basado solo en el aporte de nitrógeno y fósforo.
2. La dosis de fertilización (100N-90P-140K+70Ca+10B) fue la mejor, ya que incrementó significativamente el rendimiento y calidad de los tubérculos de betabel rojo.
3. La incorporación de B en los tratamientos de fertilización de betabel rojo presentó sinergismo con los demás nutrimentos, sobre todo con K y Ca, al producir tubérculos de mayor tamaño, peso y firmeza.
4. La combinación de K, Ca y B en el tratamiento de fertilización de betabel rojo maximizó la eficiencia del empleo de fertilizantes químicos en la nutrición del cultivo.

7. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 2013. Fitopatología. Limusa; México, D.F. 638 p.
- Agronews Castilla y León. 2016. Recomendaciones AIMCRA para el control de malas hierbas en remolacha. Disponible en:
<https://www.agronewscastillayleon.com/recomendaciones-de-aimcra-para-el-control-de-las-malas-hierbas-en-remolacha>. 15-04-2022.
- AIMCRA. 2000. Enfermedades y plagas de la remolacha azucarera. Caja España, Valladolid. 26 p.
- Alarcón, A.L. 2001. El boro como nutriente esencia. Ediciones de Horticultura. Disponible en:
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Borocomonutrienteesencia1.pdf>. Fecha de consulta: 26-03-2022.
- Alvarado, J.I., Ávila, E., Camarillo, M. Ochoa, X.M., Zamarripa, A. 2011. Producción de remolacha azucarera en el Valle de Mexicali, B.C. INIFAP, CIRN; Mexicali, B.C., México. 28 p. (Folleto Técnico No. 19).
- Aquino, J.G., y Valdez, A. 2018. Efecto del potasio y boro en el rendimiento de zanahoria morada. Informe de investigación. ICAMEX; Metepec, México, México. 17 p.
- Arrais, H. 2001. Informe técnico de la EMBRAPA y observaciones personales a nivel de campo. En: Manual de cultivos perennes. Guayaquil, Ecuador. p 4.
- Ayala, J., Omaña, J.M., Bermejo, J.L., Gutiérrez, M., y Ramírez, C. 2000. Enfermedades de la remolacha azucarera. AIMCRA-Caja España. 26 p.
- Asaja Cádiz. 2020. Incidencias: plagas y enfermedades. Disponible en:
<https://www.asajacadiz.org/2020/03/31/incidencias-plagas-y-enfermedades-46/>. Fecha de consulta: 25-04-2022.
- Azeredo, H., 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability-a review. *International Journal of Food Science & Technology* 12(44): 2365-2376.
- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta ed. Pearson Educación; México, D.F.

- BASF. 2020. Mosca de la remolacha (*Pegomyia hyoscyami*). BASF Agricultural Solutions España. Disponible en: [https://www.agro.basf.es/es/Servicios/Gu%C3%ADa-de-plagas/Plagas-\(Insectos-Roedores\)/Insectos-masticadores/Mosca-de-la-remolacha/](https://www.agro.basf.es/es/Servicios/Gu%C3%ADa-de-plagas/Plagas-(Insectos-Roedores)/Insectos-masticadores/Mosca-de-la-remolacha/). 10-03-2022.
- Bejo México. 2018. Betabel. Variedades. Disponible en: http://www.bejo.com.mx/betabel?f%5B0%5D=field_organic%3A0. Fecha de consulta: 25-12-2021.
- Biurrun, R., Zúñiga, J., Etayo, A., y Lezáun, J.A. 2015. Plagas más comunes de las crucíferas. INTIA. 7 p. (Folleto No. 213). Disponible en: <https://www.navarraagraria.com/component/k2/item/1142-plagas-mas-comunes-de-las-cruciferas-sintomas-y-prevencion+&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=mx>. Fecha de consulta: 23-04-2022.
- Bonilla *et al.* 1994. Boro y zinc: Dos elementos limitantes en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Palmira, Colombia. 47 p.
- Brown, P. 2007. Boro, probablemente el mayor mercado de micronutrientes por desarrollar en el mundo. Entrevistas, en sección Productos & Tendencias, New Ag Internacional en Español 5:16-24.
- Cakmak, I., and Romheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil* 193(1-2):71-83.
- Callejas, R. 2003. Boro como elemento nutricional. Diplomado de fisiología en uva de mesa. Curso organizado por el Centro de Estudios de la Vid (CEVID). Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.
- Cañedo, V., Alfaro, A., Kroschel, J. 2011. Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP); Lima, Perú. 48 p.
- Catalá, J. 2005. Apuntes sobre nutrición cálcica. En: Primer Seminario Internacional de Nutrición y Fertirriego. Yara Colombia/SQM. Bogotá, Colombia.
- CESAVEM (Comité de Sanidad Vegetal del Estado de México). 2015. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz. Plagas rizófagas del maíz. Disponible en:

- <http://www.cesavem.mx/img/fitosanitariodelmaiz/maiz.pdf>. Fecha de consulta: 16-03-2022.
- Connior, M.B. 2009. *Geomys bursarius* (Rodentia: Geomyidae). MAMMALIAN SPECIES 43(879):104-117.
- Cosgrove, D.J. 2005. Growth of the plant cell wall. Nature Reviews Molecular Cell Biology 6(11):850-861.
- Cranshaw, W.S., y Cloyd, R.A. 2009. La mosca del mantillo como plaga de plantas de interior y espacios cerrados. Hoja de datos No. 5.584. Disponible en: <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/spanish/05584.pdf>. Fecha de consulta: 3-04-2022.
- Cristóbal, I. 2005. Plagas de dañan el girasol. Monografía de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila, México. 82 p.
- Christenson, D.R., and Draycott, A.P. 2007. Nutrition-phosphorus, sulphur, potassium, sodium, calcium, magnesium and micronutrients-liming and nutrient deficiencies. pp. 185-220. In: A.P. Draycott (Ed.). Sugar beet. Blackwell, Publishing Ltd. Oxford, UK.
- DeBruyn, A.H., I. P. O'Halloran, J. D. Lauzon, and L. L. Van Eerd. 2017. Effect of sugar beet density and harvest date on most profitable nitrogen rate. Agronomy Journal 109: 2343-2357.
- De Liñán, 2021. Agroquímicos de México. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Disponible en: https://libreria.editorialagricola.com/editorial-agricola-libreria/destacados/vademecum-de-productos-fitosanitarios-y-nutricionales-2021_108_54_12924_0_1_pro.html.
- Demiray, H., and Dereboylu, A.E. 2006. The effects of excess boron with niacin on *Daucus carota* L. (carrot) root callus. Acta Biologica Hungarica 57(1):105-114.
- DGSV (Dirección General de Sanidad Vegetal). 1999. Guía de plaguicidas autorizados de uso agrícola. SAGARPA; México, D. F. 304 p.

- DGSV-CNRF (Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria). 2016. *Diabrotica balteata* LeConte 1865 (Coleoptera: Chrysomelidae). Ficha Técnica. 11 p. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604500/Ficha_tecnica_Diabrotica_balteata_2020.pdf. Fecha de consulta: 5-03-2022.
- DGSV-CNRF (Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria). 2020. *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) y *Cyclocephala* spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae). Gallinas Ciegas. SADER-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 21 p. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600893/Gallinas_ciegas.pdf. Fecha de consulta: 5-03-2022.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- Duran, F. 2013. Seguridad alimentaria cultivando hortalizas. Grupo Latino Editores. 857 p.
- Edmon, J.B., Senn, T.L., y Andrews, F.S. 1967. Principios de horticultura. 3a. ed. CECSA; México, D.F. 298 p.
- Empresa Agraria. 2018. Enfermedades de hoja en remolacha. Disponible en: <http://www.empresaagraria.com/enfermedades-hoja-remolacha/>.
- Escalante, E.L.E., Linzaga, E.C., y Escalante, E.Y. 2006. Cálculo de fertilizantes para elaborar mezclas físicas. Revista Alternativa 3(10):5-15.
- FAX México. 2020. Betabel, información general y de cultivo. Disponible en: <http://www.faxsa.com.mx/index.htm>. Fecha de consulta: 3-01-2022.
- FAX México. Sin fecha. Fosfuro de aluminio. 36 p. Disponible en: http://www.faxsa.com.mx/Fosf_MT/KillPhMT.pdf. Fecha de consulta: 20-04-2022.

- Feagley, S.F., and Fenn, L.I.B. 2019. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Texas A&M Agrilife Extension. Disponible en: https://cdn-ext.agnet.tamu.edu/wp-content/uploads/2019/03/EL-5212S_-El-uso-del-calcio-soluble-para-estimular-el-crecimiento-vegetal.pdf. Fecha de consulta: 15-04-2022.
- Fersini, A. 1974. Horticultura práctica. Editorial Diana: México, D.F.
- Flora of North America. 2021. *Beta vulgaris* L. Vol. 4. pp. 259, 265, 266. Disponible en: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200006793. Fecha de consulta: 24-03-2022.
- Flores, A., y Barragán, J.A. 2016. Efecto de dos biofertilizantes sobre la producción de betabel cardenal (*Beta vulgaris*). Informe de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Juan Sarabia, Quintana Roo. 41 p.
- Gaspar, V., y Alfaro, E. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. INPOFOS. Quito Ecuador. 194 p.
- González, A.M. 2016. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de untables naturales. Tesis de Químico en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química. Toluca, México. 106 p.
- Gregorio, J. 2010. Producción orgánica de betabel (*Beta vulgaris* L.): Evaluación de variedades y efecto de dos compostas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Saltillo, Coahuila. 46 p.
- Guadarrama, G.R. 1999. Monografía municipal de Villa Guerrero. Gobierno del Estado de México, Instituto Mexiquense de Cultura. Toluca, México, México. 160 p.
- Guenko, G. 1983. Fundamento de la horticultura cubana. Editorial Pueblo y Educación; La Habana, Cuba. 389 p.
- Guerrero, R. 2004. Generalidades de los fertilizantes sólidos. Manual Técnico. Disponible en: <https://docplayer.es/4234969-De-los-fertilizantes-solidos-manual-tecnico.html>. Fecha de consulta: 28-02-2022.

- Gutiérrez, N. 2014. Gallina ciega: plaga que afecta las raíces de las plantas. SADER Jalisco. Disponible en: <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-agricola-hortofruticola-e-inocuidad/613>. Fecha de consulta: 26-04-2020.
- Hanan, A.M., y Mondragón, J. 2009. Chenopodaceae. *Beta vulgaris* L. Acelga silvestre. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/beta-vulgaris/fichas/ficha.htm#:~:text=A%20veces%20se%20reconocen%20las,variedades\)%3A%20Beta%20vulgaris%20ssp.&text=perennis%20para%20la%20planta%20silvestre,para%20acelga%3B%20Beta%20vulgaris%20ssp](http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/beta-vulgaris/fichas/ficha.htm#:~:text=A%20veces%20se%20reconocen%20las,variedades)%3A%20Beta%20vulgaris%20ssp.&text=perennis%20para%20la%20planta%20silvestre,para%20acelga%3B%20Beta%20vulgaris%20ssp). Fecha de consulta: 29-03-2022.
- Hergert, W.G. 2010. Sugar beet fertilization. Sugar Tech 12:256-266. doi: 10.1007/s12355-010-0037-1.
- Huerres, C., y Carballo, N. 1991. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación; La Habana, Cuba. 193 p.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal). 2021. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de México. Villa Guerrero. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15113a.html>. Fecha de consulta: 28-12-2021.
- InfoAgro. 2017. El cultivo de la remolacha azucarera. Disponible en: https://infoagro.com/herbaceos/industriales/remolacha_azucarera.htm.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2020. Manejo y control agroecológico de babosas y caracoles en huertos hortícolas. Ficha Técnica 89. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67056/NR42400.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 14-03-2022.
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). 2001. Manejo integrado de la gallina ciega. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-la-gallina->

- Medina-Molina, C.O., Medina-Canales, M.G., Torres-Coronel, R., Carbajal-Sandoval, A., Tovar-Soto, A. 2018. Alteraciones histológicas causadas por el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* en raíces de betabel (*Beta vulgaris* L.). *Polibotánica* 43:193-202. Disponible en: <https://polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/418/352>. Fecha de consulta: 28-12-2021.
- Méndez, B.A. 2007. Aspectos bioetológicos de *Diabrotica balteata* Leconte (Coleoptera: Chrysomelidae) en el cultivo del frijol en la zona norte de la provincia de Las Tunas, Cuba. *Fitosanidad*, 11(4):13-15. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2091/20_9116154002. Fecha de consulta: 23-04-2022.
- Messiaen, C.M., Blancard, D., Rouxel, F., y Lafon, R. 1995. Enfermedades de las hortalizas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 455-470. MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). 2018. Guía de gestión integrada de plagas. Remolacha. Gobierno de España, Madrid. 176 p.
- Molina, U.N. 2000 Programa de hortalizas UNA. Manejo de plagas y enfermedades en hortalizas. p. 26.
- Montes, N., Cisneros, M.E., Díaz, A., Espinosa, M., Ortiz, F.E., y Valencia, A. J. 2019. Fertilización inorgánica en remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en el norte de Tamaulipas. *Terra Latinoamericana* 37:15-25.
- Moreno, M.J., Belén, D.R., y Vilorio, A. 2002. Degradación de betalainas en remolacha (*Beta vulgaris* L.) estudio cinético. *Científica* 12 (2):1-8. Instituto Politécnico Nacional D.F., México. Disponible en: https://redalyc.org/articulo_oa?id=61412211. Fecha de consulta: 20-05-2022.
- Morón, M.A. 1994. Diagnóstico y taxonomía de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) en Centroamérica. En Seminario-Taller Centroamericano sobre la Biología y Control de *Phyllophaga* spp. (Costa Rica).

- NCBI. 2020. *Beta vulgaris*. Taxonomy Browser. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=info&iid=161934>. Fecha de consulta: 3-03-2022.
- Nuez, F., Rodríguez del Rincón, A., Tello, J., Cuartero, J., y Segura, B. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 793 p.
- Palma, J.F. 2019. NutrientKit. Manual de uso del boro. Nutrición vegetal de especialidad. SQM. Disponible en: https://sqmnutrition.com/wp-content/uploads/NutrientKit_Boro_Espan%CC%83ol.pdf. Fecha de consulta: 25-04-2022.
- Pinales, Q.J.F., Montes, N., Martínez, J. y Zamarripa, A. 2012. Guía técnica para la producción de remolacha azucarera con riego por goteo en el norte de Nuevo León. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental General, Terán, N.L. Folleto Técnico No. 11.
- PLM-DEAQ. 2021. Diccionario de especialidades agroquímicas. Productos agroquímicos. PLM México. Disponible en: <https://www.agroquimicos-organicosplm.com/productos-agroquimicos>.
- PLM-DIPO. 2019. Diccionario de insumos para la producción orgánica y manejo integrado de plagas. 9a. ed. México, D. F., México. 271 p.
- Plantas y Flores. Pro. 2020. Betabel. Origen, descripción, cultivo, cuidados y usos. Disponible en: <https://plantasyflores.pro/betabel/>. Fecha de consulta: 29-03-2022.
- Reid, R.J. 2001. Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Australian Journal of Plant Physiology* 28(7):659-666.
- Reyes, C. 2005. Diabrotica-*Diabrotica balteata*. Panorama Agro-com. Disponible en: <https://panorama-agro.com/?p=285>. Fecha de consulta: 28-03-2022.
- Robles, V.G. 2015. Cultivo de Betabel (*Beta vulgaris* L.) bajo diferentes niveles de nutrición y condiciones ambientales Tesis de Ingeniero Agrónomo en Producción. UAAAN; Saltillo, Coahuila, México. 52 p.

- Rodríguez, S. 2009. Organismos del suelo la dimensión invisible de las invasiones por plantas no nativas. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 18:32-43.
- Ruiz, J., Aquino, T., Silva, M.E., y Girón, S.P. 2012. Control integrado de la gallina ciega *Phyllophaga vetula* Horn (Coleoptera: Melolonthidae) con agentes entomopatógenos en Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(3): 609-616.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Betabel, dulce verdura que nos pigmenta de rojo. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/betabel-dulce-verdura-que-nos-pigmenta-de-rojo>. Fecha de consulta: 29-06-2022.
- SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario). 2018. Vocación productiva de betabel en el Estado de México. Disponible en: <http://sedagro.edomex.gob.mx/sites/sedagro.edomex.gob.mx/files/files/Productores%20y%20Comercializadores/Betabel.pdf>. Fecha de consulta: 24-12-2021.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 24-12-2021.
- Singh, D.P., Liu, L.H., Oiseth, S.K., Beloy, J., Lundin, L., and Gidley, M.J. 2010. Influence of boron on carrot cell wall structure and its resistance to fracture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(16):9181–9189.
- Singh, D.P., Beloya, J., McInerneya, J.K., and Daya, L. 2012. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry* 132:1161-1170.
- Sosa, D. 2000. El boro en los frutales del género *Prunus*, *Pyrus* y *Malus*. En: www.intercace.com.ar. 8 p.
- Steel, R.G.D., y Torrie, J. H. 1986. Bioestadística. Principios y procedimientos. McGraw-Hill; México, D. F. 622 p.

- Stewart, D. 1975. Semillas. USDA. Compañía Editorial Continental, S.A.; México, D.F.
- Thomson-PLM, 2013. Diccionario de especialidades agroquímicas. Ediciones PLM S.A. de C.V. México, D.F. 1575 p.
- Tsialtas, J.T., and Maslaris N. 2008. Sugar beet response to N fertilization as assessed by late season chlorophyll and leaf area index measurements in a semi-arid environment. *International Journal of Plant Production* 2:57-70.
- Tovar-Soto, A., Ma. G. Medina-Canales, y R. Torres-Coronel. 2012. Distribución, incidencia y alteraciones histológicas de una nueva enfermedad en betabel (*Beta vulgaris* L.) causada por el falso agallador *Nacobbus aberrans*, en el Valle de Tepeaca, Puebla, México. *Nematropica* 42:191-197.
- UCSF California Childcare Health Program. 2016. Manejo integrado de plagas: Tuzas. Disponible en: https://cchp.ucsf.edu/sites/g/files/tkssra181/f/Gophers_FCCH_IPM_Sp.pdf. Fecha de consulta: 5-04-2022.
- Valadez, A. 1994. Producción de hortalizas. UTHEA-Noriega; México, D.F. 298 p.
- Wepler R. 2008. May beetle *Phyllophaga* genus. *Plant Health Australia*. 24 p.
- Wikipedia. 2021. *Geomys bursarius*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Geomys_bursarius. Fecha de consulta: 5-04-2022.
- Yfran, M. de las M., Chabbal, M.D., Píccoli, A.B., Giménez, L.I., Rodríguez, V.A., y Martínez, G.C. 2017. Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina "Nova". *Cultivos Tropicales* 38(4):22-29.
- https://es.123rf.com/photo_55783849_remolacha-fresca-con-hojas-ilustraci%C3%B3n.html.
- <https://colombia.inaturalist.org/taxa/174388-Chaetocnema>.

<https://bugguide.net/node/view/1467068>.

https://www.ecured.cu/Gusano_falso_medidor.

<https://www.asajacadiz.org/2020/03/31/incidencias-plagas-y-enfermedades-46/>.

<https://www.aimcra.es/Publicaciones/Documentos/Otras/Enfermedades.pdf>.

<http://www.empresaagraria.com/wp-content/uploads/2018/03/CercosporaOK-1024x683.jpeg>.

<http://www.empresaagraria.com/enfermedades-hoja-remolacha/>.

<https://www.bejo.com.mx/betabel/bettollo-f1>.