

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



Biofortificación en producción de frijol vd. pinto saltillo con un fulvato de níquel y cobalto

Por:

Saira Lizbeth Flores Aviña

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Torreón, Coahuila México
Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Biofortificación en producción de frijol vd. pinto saltillo con un fulvato de níquel y cobalto

Por:

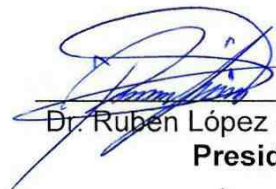
Saira Lizbeth Flores Aviña


TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobado por:


Dr. Ruben López Salazar
Presidente


Dr. José Abraham Obrador Sánchez
Vocal


Dr. Francisco Javier Sánchez Ramos
Vocal


Ph.D Vicente Hernández Hernández
Vocal suplente


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



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Biofortificación en producción de frijol vd. pinto saltillo con un fulvato de níque y cobalto

Por:

Saira Lizbeth Flores Aviña

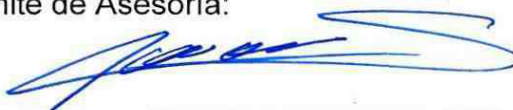
TESIS

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMOPARASITÓLOGO

Aprobado por el Comité de Asesoría:


Dr. Ruben López Salazar
Asesor Principal


Dr. José Abraham Obrador Sánchez
Coasesor


Dr. Francisco Javier Sánchez Ramos
Coasesor


Ph.D Vicente Hernández Hernández
Coasesor


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



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2024

Dedicatorias

A mis padres: Ángel Flores Rojas y Ma. De los Ángeles Aviña Romo, porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar una de mis más grandes metas

A mis hermanos: Rosa Emma Flores Aviña, María de Lourdes Flores Aviña, José Ángel Flores Aviña y Deisy Carolina Flores Aviña, que en todo momento me apoyaron y aun a la distancia siempre estuvieron para mí.

A mis cuñados: Samuel Jara, Fabián Hernández y Jazmín Rojo, por siempre darme ánimos y siempre estar ahí.

A mis sobrinos: Alan Yahir Contreras, Sahsa Nicolle Flores, Julieta Flores Rojo e Ivanna Flores Rojo, por hacer mi vida más alegre.

Agradecimientos

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi Alma Mater, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente y llevar a cabo este proyecto, además de superarme día con día.

A MIS ASESORES: Dr. Ruben López Salazar base fundamental de mi formación académica, Dr. José Abraham Obrador Sánchez, Dr. Francisco Javier Sanchez Ramos y Ph. D. Vicente Hernández Hernández, por su tiempo, su dedicación, su compromiso y sobre todo por el apoyo durante todo el proyecto.

A mis maestros del departamento de Parasitología, por siempre apoyarme.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este trabajo y en mi vida.

Gracias por creer en mí, este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo, y estoy agradecida por tenerlos en mi camino.

INDICE DE CONTENIDO

Tabla de contenido

Resumen	vi
Introducción.....	1
Objetivos	3
Objetivo específico	3
Hipótesis	3
Hipótesis alternativa	3
Revisión de literatura	4
Origen	4
Importancia del frijol.....	4
Importancia económica del frijol en México	4
Propiedades alimentarias de (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	5
Clasificación taxonómica de <i>P. vulgaris</i> L.	6
Variedad Pinto Saltillo	6
Morfología del cultivo	6
Plagas y enfermedades que atacan a el cultivo	7
Efectos de Co (cobalto) en plantas	7
Efectos de Ni (níquel) en plantas.....	9
Ácido fúlvico.....	13
Biofortificación.....	14
Desviación óptima porcentual (DOP)	16
Materiales y Métodos	17
Localización del experimento	17
Clima del área experimental.....	18
Diseño Experimental.....	18
Actividades del Experimento	20
Resultados y Discusión	25
Conclusión.....	42
Literatura Citada.....	43

Índice de Imágenes

Imágenes 1.- Área de la localidad.	17
Imágenes 2.- Ubicación del área experimental.	18
Imágenes 3.- Análisis de suelo.	20
Imágenes 4.- Nutrición Sintética.	21
Imágenes 5.- Insecticida sistémico.	22
Imágenes 6.-Medición número de grano.	23
Imágenes 7.-Medición peso de grano.	23
Imágenes 8.- Resultado de análisis de nutrientes en grano.	24
Imágenes 9.- Análisis foliar.	24

Índice de tablas

Tabla 1.- Tratamientos de aplicación de nutrimentos a copa del árbol.	18
Tabla 2.- Siembra.	19
Tabla 3.- Fechas de aplicación.	20
Tabla 4.- Nutrimentos de síntesis química.	21
Tabla 5.-Insecticida Inorgánico.	22
Tabla 6.- Control de maleza.	22
Tabla 7.- DOP Hoja.	40
Tabla 8.- DOP Ejote.	40
Tabla 9.- DOP de Grano.	40

Índice de graficas

Grafica 1.- Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Hoja.	25
Grafica 2.-Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Grano	25
Grafica 3.- Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Ejote.	25
Grafica 4.- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Hoja.	26
Grafica 5.- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Ejote.	26
Grafica 6.- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Grano.	26
Grafica 7.- Agrupación de medias de la variable Potasio en Hoja.	27
Grafica 8.-Agrupación de medias de la variable Potasio Ejote.	27
Grafica 9.- Agrupación de medias de la variable Potasio en Grano.	27
Grafica 10.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Ejote.	28
Grafica 11.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Hoja.	28
Grafica 12.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Grano.	28
Grafica 13.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Grano.	29

Grafica 14.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Hoja.	29
Grafica 15.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Ejote.....	29
Grafica 16.- Agrupación de medias de la variable Cobre en Hoja.	30
Grafica 18.- Agrupación de medias de la variable Cobre en Grano.	30
Grafica 19.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Hoja.	31
Grafica 20.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Grano.....	31
Grafica 21.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Ejote.....	31
Grafica 22.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Hoja.....	32
Grafica 23.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Ejote.....	32
Grafica 24.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Grano.	32
Grafica 25.- Agrupación de medias de la variable Boro en Hoja.	33
Grafica 26.- Agrupación de medias de la variable Boro en Grano.....	33
Grafica 27.- Agrupación de medias de la variable Boro en Ejote.	33
Grafica 28.- Agrupación de medias de la variable Manganeso en Grano.....	34
Grafica 29.-Agrupación de medias de la variable Manganeso en Hoja.	34
Grafica 30.- Agrupación de medias de la variable Manganeso en Ejote.	34
Grafica 31.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Hoja.	35
Grafica 32.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Ejote.	35
Grafica 33.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Grano.	35
Grafica 34.- Agrupación de medias de la variable masa de frijol vd. Pinto Saltillio.	36
Grafica 35.- Agrupación de medias de la variable densidad de frijol vd. Pinto Saltillio.	37
Grafica 36.- Agrupación de medias de la variable peso de grano de frijol vd. Pinto Saltillio.	37
Grafica 37.- Agrupación de medias de la variable número de grano de frijol vd. Pinto Saltillio.	38
Grafica 38.- Comparación de niveles de proteína en Hoja	38
Grafica 39.- Comparación de niveles de proteína en Grano	39
Grafica 40.- Comparación de niveles de proteína en Ejote	39

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consistió en evaluar el efecto de aplicaciones foliares de níquel y cobalto combinado con ácido fulvico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad pinto saltillo, mediante la fortificación. El experimento se llevó a cabo en la comunidad de San José de Lourdes, perteneciente al municipio de Fresnillo, Zacatecas. Con un intervalo de aplicación de 15 días, a partir de las primeras dos semanas después de la germinación. Se realizaron 4 tratamientos: Testigo (T), Cobalto (Co), Níquel y Cobalto (Ni+Co) y Cobalto (Co). Una vez obtenidos los resultados de análisis foliar de hoja y ejote fue utilizado el método de Desviación Óptima Porcentual (DOP), para determinar la posición de los elementos en el tejido vegetal, acomodándose de mayor a menor concentración, el tratamiento T3 Ni (1ml) + Co (1ml) favoreció a la absorción translocación de elementos como N, K y Cu en hoja, ejote y grano en mayor concentración seguido por T2 Ni (1ml).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, biofortificación, Ácido fúlvico, Nutrición, DOP, Cobalto (Co), y Níquel (Ni)

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas desempeñan un papel importante, cumplen una función multifacética que abarca economía, nutrición cultura, sociedad y agricultura, a nivel mundial México se encuentra entre los cinco principales productores de frijol, junto con Brasil, India, Myanmar y China, países que en conjunto aportan el 55% de la producción mundial, México contribuye con el 7% en promedio de las cosechas mundiales; el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es uno de los cultivos de relevancia económica, la producción se basa únicamente en variedades locales, debido a que no existen programas de mejoramiento genético, la siembra genotipos como “Pinto Saltillo” en altas densidades favorece el incremento del rendimiento hasta un cincuenta por ciento, asimismo este material muestra adaptación en diferentes densidades.

El cobalto es un elemento esencial como fijador libre y simbiótico de N atmosférico, el contenido de cobalto en los suelos es adecuado, siendo comunes niveles desde 1 - 40 ppm (partes por millón), que la concentración de este microelemento en la materia seca de las plantas, varía entre 0.02 – 0.5 ppm (partes por millón), por su parte el níquel es un elemento que fomenta la germinación y crecimiento en los cultivos, como componente metálico de las enzimas ureasa e hidrogenasas, la aspersión con sales de Ni son efectivas para frenar la roya de los cereales por su toxicidad para el patógeno y por la resistencia que otorga en el hospedero, el Ni sostiene cataliza la hidrólisis de la urea de angiospermas y es requerido por fabáceas y no leguminosas.

Los ácidos fúlvicos son ácidos orgánicos alifáticos débiles y aromáticos solubles en cualquier pH ya sea ácido, neutro o alcalino, poseen una cantidad de oxígeno y tienen la capacidad de intercambio aniónico y catiónico, es la fracción de las sustancias húmicas (SH) que es soluble en un medio acuoso a todos los valores de pH, contienen más grupos funcionales, particularmente – COOH, a su vez el objetivo de la biofortificación es desarrollar plantas que tengan nutrientes biodisponibles en sus partes comestibles, estos tienen características agronómicas superiores y nutricionales contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional de los

individuos, en comparación con cultivos no-biofortificados, es decir, los que consumimos a diario y se denominan convencionales.

La Desviación Óptima Porcentual (DOP) es un método estadístico que examina la concentración del nutriente en la muestra en cuanto a la norma, la cual se basa en un nivel nutrimental óptimo en la que el cultivo exprese su máximo rendimiento potencial, el método DOP cuantifica el valor en que un nutriente se desvía con respecto a la norma individual, por lo cual una situación nutrimental óptima, para cualquier elemento, es definida por el índice DOP igual a cero, dando el orden de limitación tanto por exceso ($DOP > 0$) como o deficiencia ($DOP < 0$), de los elementos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Biofortificación Frijol var. pinto Saltillo con un Fulvato de Níquel y Cobalto

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Biofortificación de Frijol var. pinto saltillo con un Fulvato de Níquel y Cobalto en Producción

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Contribuir a la seguridad alimentaria de la producción mundial

REVISIÓN DE LITERATURA

ORIGEN

En los años 3000 a 8000 a. C. aparecieron las primeras sociedades capaces de producir sus alimentos, domesticaron una gran variedad de plantas (Colunga-García Marín, 2010), el “cuello de botella de la domesticación” es la reducción de la diversidad genética del frijol en comparación a sus ancestros (Ladizinsky, 1998); en América se localizó *P. vulgaris*, específicamente en Mesoamérica y los Andes, Mesoamérica fue centro de domesticación de cultivos como: maíz (*Zea mays*), frijol (*P. vulgaris*), calabaza (*C. pepo*), chile (*Capsicum sp.*) y cacao (*Theobroma cacao*). (Colunga-GarcíaMarín, 2010), en el Valle de Tehuacán fue domesticado *P. vulgaris*, sin embargo Perú es parte de los primeros centros donde se domestico de frijol, (Kaplan *et al.*, 1973).

IMPORTANCIA DEL FRIJOL

La necesidad de aumentar la producción de frijol a nivel mundial genera el uso de nuevas y mejores tecnologías, las fabáceas cumplen una función multifacética abarca la economía, nutrición, cultura, sociedad y agricultura (Monge *et al.*, 2019), México está entre los principales productores de frijol con el 7% , junto con Brasil, India, Myanmar y China, los cuales aportan el 55% de producción mundial, es fundamental continuar promoviendo su producción y consumo (Badiane *et al.*, 2014), en México, esta fabacea recibe una variedad de nombres según las características físicas, la elección del nombre varía según región, tradición local y platillos típicos de cada lugar, estos nombres reflejan cualidades de la semillas, el frijol, también conocido como “carne de pobre” (Nassourou *et al.*, 2016) es fuente de proteína vegetal baja en colesterol y triglicéridos que previene las enfermedades degenerativas como el cáncer,(Pérez, 1999).

IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL FRIJOL EN MÉXICO

La producción de frijol se basa únicamente en variedades locales, el cultivo se ha realizado de manera empírica, lo que implica un proceso dinámico de

selección de plantas que se adaptan a sus condiciones locales (Morales-Morales *et al.*, 2019).

PROPIEDADES ALIMENTARIAS DE (*Phaseolus vulgaris* L.)

Las fabáceas como *Phaseolus vulgaris* forma parte de la alimentación básica, las cuales representan fuente de proteína que complementa la nutrición (Quintana E., 1997), con el potencial nutricional (Messina M., 1999) y funcional (Pereira M., *et al.*, 2002) se pueden desarrollar nuevos productos de grado alimenticio que incluya esta importante fuentes de proteína, vitaminas, minerales y fibra dietética, con el fin ofrecer al consumidor alimentos fortificados, dentro de la familia de las fabáceas, *P. vulgaris* es cultivado y consumido en África, India, México y en varios países de América Central y Sudamérica, en estos lugares forma parte de la alimentación de las poblaciones (Leterme y Muñoz, 2002), el frijol aporta proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, además, contienen compuestos fenólicos que otorgan beneficios a la salud humana; la evidencia científica continúa en apoyo a los compuestos fenólicos usados para la prevención y tratamiento de enfermedades, que contribuyen a la salud humana, (Guzman-Maldonado, *et al.*, 2002) la importancia para el ser humano se debe a que posee propiedades anticancerígenas, antimutagénicas y antiinflamatorias; específicamente, el estudio de los compuestos fenólicos del frijol además de ser antioxidante, la fibra que se encuentra en el frijol está integrada por diversos tipos de azúcares que no pueden ser asimilados por el humano, una de las propiedades de esta fibra consiste en disminuir el nivel de azúcar en la sangre y el colesterol, la fibra mejora el tránsito intestinal, lo cual contribuye a mejorar la microbiota intestinal (microorganismos benéficos que se encuentran en el colon), la fibra presente en el frijol, probó ser capaz de disminuir problemas de colitis.

Un componente importante de esta fabácea es su proteína, la cual representa entre 16 y 33% del total de nutrientes presentes, algunas de ellas apoyan el crecimiento y metabolismo de la semilla, mientras que otras como la faseolina y la lectina tienen propiedades nutrimentales y benéficas para la salud.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE *P. vulgaris* L.

Reino	Plantae
Phylum o división	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Nombre científico	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (IBUNAM, 2019)

VARIEDAD PINTO SALTILLO

La siembra variedades como “Pinto Saltillo” en altas densidades incrementan el rendimiento hasta un cincuenta por ciento (Báez-González *et al.*, 2020); se debe utilizar una densidad de siembra adecuada ya que se puede afectar considerablemente el número de vainas por planta y granos por vaina, además de pérdida en el peso específico de grano, ocasionan pérdida comercial del grano (Musana *et al.*, 2020).

MORFOLOGÍA DEL CULTIVO

La morfología permite examinar la genética entre las plantas silvestres y cultivadas, como: la fenología (color, tamaño y forma), el tamaño es lo que separa a el frijol silvestre y cultivado, (Gepts y Debouck, 1991), el frijol domestico es anual, herbáceo, de hábito arbustivo para siembras en monocultivo o trepador para siembras generalmente asociadas con maíz (*Zea mays* L.) la fenología puede variar desde 85 a 270 días, según las condiciones en las que se encuentre y la época de siembra, el frijol es cultivado desde Canadá hasta Argentina y desde el nivel del mar hasta los 3200 m de altura, es una planta termófila susceptible a heladas (Gepts y Debouck, 1991), la forma silvestre de *P. vulgaris* es de hábito impreciso en la que predominan las flores de color morado, las vainas y los granos son pequeños, las semillas son generalmente de color gris, se encuentra desde el norte de México

hasta el noroeste de Argentina, en una distribución continua y en un rango altitudinal de 500 a 2000 metros, con precipitaciones anuales de 500 a 1800 mm (milímetros) , se pueden encontrar en las riberas de los ríos, hábitat con perturbaciones o por modificaciones hechas por el hombre (Toro *et al.*, 1990).

PLAGAS Y ENFERMEDADES QUE ATACAN A EL CULTIVO

El frijol es susceptible al ataque organismos nocivos, las principales plagas en el frijol son la mosca blanca (*Bemisia argentifolii* Bellows y Perring; *B. tabaci* Gennadius) que transmite el virus que es el A.C. del mosaico dorado (Shoonhoven y Cardona, 1980), chicharrita (*Empoasca kraemeri* Ross y Moore) que ataca en cualquier fase fenológica, su incidencia causa mermas en el rendimiento, el control efectivo a largo plazo es complicado y requiere entender los diversos componentes de un agroecosistema determinado, tanto bióticos, como abióticos (Bottrell, 1979),

EFFECTOS DE CO (COBALTO) EN PLANTAS

Los humanos necesitan al menos 22 elementos minerales para una buena nutrición (Thacher *et al.*, 2006), al menos 17 elementos se consideran esenciales en las plantas, es decir N, P, K, Ca, Mg y S en excesivas cantidades y micronutrientes, Fe, Mn, B, Mo, Co, Zn, Cl y Ni, es posible añadir más elementos esenciales, en el futuro son Na, Co^{2+} , Va y Se; el desarrollo vegetal es imposible con deficiencia de micronutrientes, estos son nutrientes esenciales y se suministran en moderación, las plantas tienen que depender del suelo o de los micronutrientes suministrados al suelo en forma de impurezas a través del fertilizante; actualmente, las deficiencias de micronutrientes se diagnostican para lograr un buen rendimiento de los cultivos, es necesario inspeccionar y corregir las deficiencias de estos, el Co^{2+} es un elemento ampliamente beneficioso para la agricultura en diversos cultivos, este es esencial como fijador libre y simbiótico en el proceso de fijación biológica de N atmosférico. (Malavolta *et al.*, 1997, USDA 2001, FAO 2005)

El Co^{2+} se requieren en las plantas de fabáceas para diversas acciones fisiológicas, están involucradas en la síntesis de ADN a través de la ribonucleósido trifosfato reductasa (NTPs) dependiente de cinocobalamina; es un cofactor para la actividad

de la enzima nitrogenasa; el cobalto es beneficioso en las plantas, su esencialidad en la soya, la alfalfa y el trébol, lo que resultó ser de interés agronómico (Halsworth *et al.*, 1965), el *Rhizobium* es la bacteria específica responsable de la nodulación de fabáceas y la fijación de nitrógeno en aminoácidos y proteínas, el Co^{2+} es responsable del crecimiento del *Rhizobium*, este es el precursor de la cinocobalamina, es un constituyente del pigmento leghemoglobina sintetizada por las bacterias *Rhizobium*, la cantidad de leghemoglobina en los nódulos es proporcional a la fijación de nitrógeno; las enzimas como la ribonucleótido reductasa, la metionina sintasa y la metil malonil-CoA mutasa, son inducidas por Co^{2+} y dependientes de la cobalamina, además de modificar las actividades como la nodulación y la fijación de nitrógeno en las fabáceas de las cuales son responsables (Dilworth y Bisseling, 1984), la síntesis de la leghemoglobina se realiza mediante la metilmalonil CoA mutasa, por ende, la falta de cobalto es responsable de la reducción de la vitamina B12, el desarrollo de nódulos y la fijación de nitrógeno, *P. vulgaris* L. es uno de los cultivos de alto valor nutricional y médico, además de mejorar las propiedades químicas del suelo (Abu Dahi *et al.*, 1988), los ciclos agrícolas son importantes ya que aumenta la fertilidad del suelo y la estabilidad del nitrógeno (AL-Bayati *et al.*, 2019, Al-Masoum *et al.*, 1996); las fabáceas se caracterizan por su fijación de nitrógeno atmosférico a través de los nódulos radiculares resultantes de la infección del *Rhizobium* (Al-Rawi *et al.*, 1980); la aplicación de cobalto da resultados a través de la activación de enzimas que favorece la actividad de la vitamina B12 (AlTaey *et al.*, 2017); estudios confirman que la incorporación de Co^{2+} mejora el crecimiento y el rendimiento, (AlTaey *et al.*, 2018) .

En los suelos los niveles van desde 1 - 40 ppm de Co^{2+} , que la concentración de este microelemento en la materia seca de las plantas, varía entre 0.02 – 0.5 ppm, en los suelos, el Co^{2+} se encuentra en las redes cristalinas de los minerales ferromagnésicos y como tal no está disponible para las plantas, se libera de estos minerales por meteorización, el Co^{2+} se mantiene en forma iónica o como complejo orgánico mineral, el Co^{2+} intercambiable en la solución del suelo es inadecuada; la velocidad de meteorización es breve en condiciones de poco drenaje, el Co suele

comportarse como metales pesados, de igual manera al Fe, Mn, Zn y Cu, tienden a formar compuestos quelatados, traslada a otros iones de puntos de unión fisiológicamente importantes, disminuye así la absorción y la forma de acción de otros metales pesados, el Co puede inducir a deficiencia de Fe; los efectos tóxicos son similares a la deficiencia de Mn; los efectos de toxicidad de Co en plantas muestran hojas cloróticas y necróticas que se marchitan completamente, atenuándose dicha toxicidad con el suministro de Fe (Mengel y Kirkby, 2000)

EFFECTOS DE NI (NÍQUEL) EN PLANTAS

Ni es un elemento esencial para las plantas superiores. Es absorbido como Ni^{2+} , y se transporta en el xilema como complejos o quelatos orgánicos aniónicos. Presenta una capacidad intermedia de redistribución en la planta; en el suelo su movilidad es media en condiciones de oxidación, elevada en ambiente ácido y muy baja en ambiente neutro a alcalino y reductor (Malavolta *et al.*, 1997).

Según la serie Irving Williams, clasifica los cationes de metales divalentes biológicamente según sus afinidades con las proteínas, Ni^{2+} , junto con Zn^{2+} , es uno de los dos iones metálicos competitivos después de Cu^{2+} , por lo tanto, la concentración citoplasmática de iones de Ni^{2+} libres debe mantenerse en los rangos adecuados para evitar la toxicidad debido (Foster *et al.*, 2014). La adición de níquel a las enzimas dependientes del Ni^{2+} en los sistemas biológicos está asistida por metalochaperonas (proteínas L^1). Se creía que el Ni^{2+} era un cofactor relativamente prevalente en los primeros años de la vida anaeróbica, es uno de los cofactores metálicos comunes, elemento reciente que se reconoció como un micronutriente necesario para las plantas vasculares (Brown *et al.*, 1987 a,b; Foster *et al.*, 2014; Freitas *et al.*, 2018).

La primera evidencia de las funciones del Ni^{2+} en plantas superiores, la proporcionó Dixon *et al.* (1975), más tarde se demostró un requisito de Ni^{2+} en legumbres (Eskew *et al.*, 1984) y posteriormente en una serie de fabáceas cultivadas con varias fuentes de N (Brown *et al.*, 1987a, b), en las semillas de cebada con un suministro bajo de Ni^{2+} , había una estrecha relación entre la concentración de Ni^{2+} , la tasa de germinación y el vigor de las plántulas (Brown *et al.*, 1987a); la disponibilidad de Ni^{2+}

se ve afectada por varios factores como el pH, contenido de materia orgánica, potencial redox y la temperatura, este se toma por las raíces a través de procesos de transporte que requieren energía directa o indirecta, con la importancia relativa de cada uno y depende de la disponibilidad de Ni^{2+} ; todavía no se descubren los transportadores específicos para la absorción de Ni^{2+} de raíces de las plantas, aunque, los estudios sobre especies hiperacumuladoras y no hiperacumuladoras indican que los sistemas de transporte de Zn colaboran a la absorción de Ni^{2+} por las raíces (Khoshgoftarmanesh, 2015; He *et al.*, 2012); entre los quelatadores biológicos de Ni^{2+} , la histidina tiene afinidad por el Ni^{2+} , se sabe que la histidina que se suministra de forma exógena como la endógena mejoran la absorción de raíces y la translocación de Ni^{2+} a brote; sin embargo, no se ha demostrado que la absorción directa de un complejo de Ni-histidina pueda ser posible. (Dalir y Khoshgoftarmanesh, 2015; Kerkeb y Kraimer, 2003); Assunção *et al.*, 2008; Nishida *et al.*, 2015, demostraron que la absorción de níquel por las raíces está inhibida competitivamente por cationes de micronutrientes divalentes, como el Zn^{2+} y el Cu^{2+} y se ve reforzada por la deficiencia de Zn (Korner *et al.*, 1986; Nishida *et al.*, 2015); el níquel forma parte de al menos nueve enzimas (Li y Zamble, 2009), incluyendo la metil-coenzima M reductasa, la SOD, glioxalasa dependiente de Ni (GLY), aci-reductona dioxigenasa, NiFe-hidrogenasa, monóxido de carbono deshidrogenasa, acetil-CoA descarboxilasa sintasa, metilureasa y ureasa; la ureasa se considera como la única enzima que contiene Ni^{2+} en las plantas vasculares, además, se demostró que una proteína accesoria de ureasa llamada Eu^3 , posiblemente una Ni^{2+} chaperona, es una proteína de unión a Ni^{2+} (Freyermuth *et al.*, 2000); los síntomas y consecuencias fisiológicas de la deficiencia de Ni^{2+} , sugieren que las funciones esenciales adicionales vayan más allá de las asociadas con la ureasa (Bai *et al.*, 2006; Brown *et al.*, 1990), la sugerencia de que la ureasa es la única enzima que contiene Ni^{2+} en las plantas es cuestionada por la demostración de la estricta dependencia de Ni de una isoenzima GLY I (Mustafiz *et al.*, 2014).

En las subunidades, el Ni^{2+} está coordinado en conjunto con N y O, es posible que uno de los enlaces NiO pueda ser desplazado por moléculas de agua durante las

reacciones hidrolíticas; en el sitio activo dinuclear de la ureasa, los dos iones de Ni coordinados se unen a través de tres ligandos de O por un residuo de lisina y un grupo hidroxilo, en contraste con varias enzimas que contienen Ni, como la CO deshidrogenasa, metil-coenzima M reductasa e hidrogenasa, los iones de Ni de la ureasa no cambian sus estados redox durante la catálisis (Thauer, 2001); el Ni no es necesario para la síntesis de la proteína ureasa (Winkler *et al.*, 1983) pero, como componente metálico, es esencial para la estructura y la función catalítica de la enzima (Klucas *et al.*, 1983); en las fabáceas hay una ureasa embrionaria específica (Eu¹, también conocida como ureasa de semilla), que tiene una actividad alta y una ureasa ubicua (Eu⁴), con actividad baja pero que se encuentra en todos los tejidos vegetativos (Fabiano *et al.*, 2015; Freyermuth *et al.*, 2000), las fabáceas codifican una UreG que es homóloga a la proteína accesoria de la ureasa bacteriana y se cree que estabiliza la ureasa por inserción de Ni²⁺, es necesaria para la acumulación de Eu¹ funcional en embriones, así como para la activación de Eu⁴ en tejidos no embrionarios (Freyermuth *et al.*, 2000).

El sistema GLY se ha estudiado ampliamente en microorganismos y recientemente ha atraído más atención en las plantas, es responsable de la desintoxicación del metabolito citotóxico metilglioxal (MG) a través de la acción concertada de GLY I y GLY II (Fabiano *et al.*, 2015; Singla-Pareek *et al.*, 2020), se ha establecido de manera inequívoca que las concentraciones de MG aumentan en condiciones de estrés y que el sistema GLY es crítico para la tolerancia al estrés de las plantas, en base a esto, se demostró que el GLY I dependiente de Ni en el arroz (OsGLYI-11.2) es inducible por la MG, lo que otorga tolerancia al estrés cuando se expresa de forma heterológica en *Escherichia coli* o tabaco (Mustafiz *et al.*, 2014); el Ni cumple un papel importante en la tolerancia al estrés abiótico de las plantas debido a su participación en la rotación de urea (Polacco *et al.*, 2013). En las hidrogenasas de bacterias reductoras de sulfato, fotosintéticas y oxidantes de hidrógeno, el Ni²⁺ se asocia con los grupos de Fe-S (Li y Zamble, 2009), el *Rhizobium* produce hidrogenasa de absorción de hidrógeno cuando viven libremente y como bacterioides en los nódulos radiculares (Maier *et al.*, 1990), en los *Rhizobium* de vida libre, sin suministro de Ni²⁺, la actividad de la hidrogenasa

baja, pero se puede restaurar mediante la adición de Ni (Maier *et al.*, 1990), en la soja cultivada en suelo, se demostró que la fertilización con Ni aumenta el número de nódulos, peso seco de estos y la actividad de la nitrogenasa, por lo tanto, mejora el estado de N en las plantas huésped (Freitas *et al.*, 2019), en especies como el calabacín (Gerendas y Sattelmacher, 1997), canola (Arkoun *et al.*, 2013) y soja (Kutman *et al.*, 2014), se informó que la deficiencia de Ni reduce el crecimiento, da lugar a fenotipos deficientes en N, disminuye las concentraciones de aminoácidos y reduce la tasa de absorción de urea cuando es la única fuente de N en la solución nutritiva; a pesar de la esencialidad del Ni para todas las plantas vasculares (Gerendas *et al.*, 1998; Gheibi *et al.*, 2009; Tan *et al.*, 2000), el uso de la urea foliar se ve afectada en plantas de bajo contenido de Ni, que exhibían síntomas de toxicidad de la urea (Krogmeier *et al.*, 1991; Kutman *et al.*, 2014), la gravedad de la toxicidad está relacionada con el estado nutricional de las plantas (Krogmeier *et al.*, 1991); estas que no cuentan con un suministro de Ni^{2+} , baja la actividad de la ureasa y la aplicación foliar de urea conduce a la acumulación y provoca necrosis grave en las hojas; por el contrario, cuando se suministra Ni la actividad de la ureasa aumenta y disminuye la necrosis, además el Ni se aplica al medio de crecimiento, follaje y a las semillas; la urea acumulada en las hojas de soja y chícharo, independientemente de la forma de nutrición de N (urea, amonio, nitrato, fijación de N_2), presentan síntomas de necrosis de la punta de la hoja cuando las plantas se cultivaban sin un suministro de Ni (Eskew *et al.*, 1984); del mismo modo, que las semillas de trigo, cebada y avena cultivadas a partir de semillas bajas en Ni^{2+} sin suministro de Ni^{2+} y alimentadas con NO_3^- acumulan urea y muestran una necrosis en la punta de las hojas (Brown *et al.*, 1987b); el crecimiento de las raíces y los brotes es significativamente menor en las plantas con deficiencia de Ni^{2+} , que eran menos verdes, desarrollaron clorosis y necrosis y los 2 cm terminales de las hojas no se desarrollaron; en las plantas, la urea es un metabolito normal que debe mantenerse en una concentración baja para evitar la toxicidad, es probable que el ciclo de la ornitina para la biosíntesis de urea sea relevante, así como específico en la formación de urea durante la degradación de proteínas (por ejemplo, en hojas maduras) al inicio del crecimiento reproductivo (Eskew *et al.*, 1984) y en la

germinación de semillas de fabáceas (Horak, 1985); la degradación de la arginina por la arginasa, que genera ornitina y urea en la matriz mitocondrial, se considera la única fuente enzimática de urea producida endógenamente en las plantas, aunque algunos intermedios de la vía del catabolismo de la ureida son inestables y pueden decaer para generar urea (Werner *et al.*, 2013; Witte, 2011); en las fabáceas noduladas como la soya, las ureidas son la forma dominante de N translocado a los brotes, donde se descomponen en NH^3 y CO^2 , independientemente del metabolismo de la urea, a pesar de que el catabolismo de urea independiente de la ureasa puede sugerir que el requisito de Ni de la soya nodulada no es particularmente alto simplemente porque la soya es una especie transportadora de ureida (Winkler *et al.*, 1988), en los bacterioides de los nódulos de chícharo, se demostró que la actividad de la hidrogenasa es limitada por la disponibilidad de Ni en el suelo (Ureta *et al.*, 2005), se ha encontrado evidencia de que se requiere un suministro adecuado de Ni para una fijación biológica eficiente de N_2 en fabáceas noduladas (Freitas *et al.*, 2019; Lavres *et al.*, 2016); los cambios en la concentración de metabolitos y ácidos orgánicos pueden ser el resultado de alteraciones en el metabolismo del N en plantas con deficiencia de Ni (Bai *et al.*, 2006; Brown *et al.*, 1990), estos efectos de la deficiencia de Ni están directamente relacionados con la función del Ni como cofactor de la ureasa.

ÁCIDO FÚLVICO

Los ácidos fulvicos solubles en condiciones alcalinas y ácidas, por su parte las huminas son insolubles (Hayes *et al.*, 1989), las sustancias húmicas están compuestas de grupos funcionales pues suelen incluir un moléculas aromáticas, como grupos carboxílicos, hidroxilo, fenólico y grupos quinona unidos entre si (Flores-Céspedes *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2009). Los AF son la mezcla de ácidos orgánicos débiles y aromáticos solubles en condiciones de pH ácido, neutro y/o alcalino, disponen de oxígeno, CIC Y CIA (Barragán, 2017), además son de gran utilidad ya que: mejorara el aprovechamiento de la nutrición foliar y radicular, favorece a el crecimiento de la planta, aumenta los mayores rendimientos y mejora la calidad de cosechas (Vega, 2016); Lazo, Ascencio, Ugarte y Yzaguirre (2014)

mencionan que la aplicación de ácido fúlvico al follaje estimula el crecimiento en base a la altura de la planta, número de hojas, y el diámetro del tallo. El uso de estos disminuye la dosis de fertilizantes químicos y reduce la salinidad de los suelos.

BIOFORTIFICACIÓN

Los fertilizantes se han aplicado con el fin de mejorar los cultivos desde hace cientos de años, pero dentro de ciertos límites, la misma estrategia también se puede utilizar para aumentar la acumulación de minerales dentro de los granos de cereales con fines nutricionales (Rengel *et al.*, 1999). Esta estrategia solo funciona si la deficiencia mineral en el grano refleja la ausencia de ese mineral en el suelo y si el fertilizante mineral contiene minerales que se pueden movilizar fácil, incluso si las plantas pueden absorber los minerales de manera eficaz del suelo, pueden almacenar el mineral en las hojas, pero no en los frutos y semillas, o pueden acumular el mineral en una forma que no está biodisponible, por lo que no tiene ningún impacto en la nutrición (Frossard *et al.*, 2000); los suplementos y la fortificación en la intervención agronómica probablemente se aplique mejor en situaciones de nicho o en combinación con otras estrategias (Cakmak 2008), un inconveniente de la intervención agronómica es el costo y el impacto de los fertilizantes, el uso de fertilizantes aumente el costo de los alimentos, reduciendo así su capacidad de disponibilidad, sin un incentivo directo para el rendimiento de los agricultores de los países en desarrollo, por lo que es probable que se omita la intervención para ahorrar costos a pesar de que las semillas producidas en condiciones minerales ricas germinan con más fuerza que las de suelos pobres (Cakmak 2008), las estrategias agronómicas para aumentar las concentraciones de elementos minerales en los tejidos comestibles generalmente se basan en la aplicación de fertilizantes minerales y/o en la mejora de la solución y movilización de elementos minerales en el suelo (White y Broadley 2009), en los cultivos donde los elementos minerales no están disponibles de inmediato en el sustrato se realizan aplicaciones de fertilizantes inorgánicos solubles en las raíces o en las hojas, los elementos minerales no se translocan fácilmente a tejidos comestibles, se realizan aplicaciones foliares de fertilizantes inorgánicos solubles (Graham *et al.*, 2007). Los nutrientes esenciales de las plantas se aplican principalmente al suelo y

al follaje de las plantas para lograr los máximos rendimientos económicos, el método de aplicación del suelo es eficaz para los nutrientes, que se requieren en mayores cantidades, bajo ciertas circunstancias, la fertilización foliar es económica y efectiva, las aplicaciones de fertilizantes en el suelo se realizan principalmente sobre la base de pruebas de suelo, mientras que las aplicaciones de nutrientes foliares se realizan principalmente sobre la base de síntomas visuales de las hojas o pruebas de tejido vegetal, la fertilización foliar requiere un mayor índice de área foliar para absorber la solución de nutrientes aplicada en cantidad suficiente.

La biofortificación se ha propuesto como un enfoque alternativo a largo plazo para mejorar la nutrición mineral (Zhu *et al.*, 2007), se centra en mejorar las cualidades nutricionales minerales de los cultivos en origen, que abarca procesos que aumentan tanto los niveles minerales como su biodisponibilidad en la parte comestible de los cultivos básicos, el mejoramiento de plantas y la ingeniería genética a menudo se comparan porque, a diferencia de las intervenciones agronómicas, ambos implican el cambio del genotipo de un cultivo objetivo, ambos intentan crear líneas de plantas que transporten genes que favorecen la acumulación más eficiente de minerales biodisponibles; el mejoramiento de plantas lo logra cruzando las plantas de mejor rendimiento y seleccionando aquellas con rasgos favorables durante muchas generaciones, mientras que la ingeniería genética accede a genes de cualquier fuente y los introduce directamente en el cultivo, la reproducción vegetal se limita a los genes que pueden obtenerse de plantas sexualmente compatibles, mientras que la ingeniería genética no tiene restricciones taxonómicas e incluso se pueden utilizar genes artificiales, la principal ventaja de la ingeniería genética y los enfoques de fitomejoramiento mejora la inversión solo se requiere en la etapa de investigación y desarrollo, y a partir de ahí los cultivos mejorados son totalmente sostenibles, las plantas ricas en minerales tienden a ser vigorosas y tolerantes al estrés biótico, lo que significa que es probable que los rendimientos mejoren en línea con el contenido mineral (Frossard *et al.*, 2000; Nestel *et al.*, 2006): a diferencia de las estrategias de intervención convencionales, la ingeniería genética y el mejoramiento de plantas son económica y ambientalmente sostenibles (Stein *et al.*, 2008), también es

probable que la biofortificación sea más accesible que las intervenciones convencionales a largo plazo porque elimina obstáculos como la dependencia de la infraestructura y el cumplimiento, las plantas asimilan minerales en formas orgánicas que son naturalmente biodisponibles y contribuyen al sabor y la textura naturales de los alimentos; los estudios económicos han demostrado beneficios potenciales para la salud de las estrategias de biofortificación, especialmente en combinación con las estrategias convencionales (Bouis 2002; Stein *et al.*, 2008).

El objetivo de la biofortificación es desarrollar plantas con mayor disponibilidad de nutrientes (Palmgren *et al.*, 2008). Los cultivos biofortificados tienen mejores características fisiológicas y nutricionales, en comparación con los convencionales. (Pisuña-Pisuña, 2015), los cultivos biofortificados favorecen a la seguridad alimentaria de dos maneras: 1) a través de mejores cualidades fisiológicas, como el rendimiento, 2) el contenido de nutrientes como el hierro y el zinc, la biofortificación de cultivos básicos es una estrategia reciente, basada en alimentos que se suma a otras como lo es la fortificación industrial de alimentos (Ortega - Ruiz, 2014), esta se considera un eficaz y económico para las poblaciones de bajos recursos. (Herrera 2011).

DESVIACIÓN ÓPTIMA PORCENTUAL (DOP)

La Desviación Óptima Porcentual (DOP) es un sistema estadístico que compara la concentración de nutrientes en la muestra según la muestra, la cual se basa en un nivel nutrimental óptimo en la que el cultivo expresa su máximo rendimiento potencial (Ventura *et al.*, 2012). El método DOP mide la cantidad de un nutriente que se desvía con respecto a la norma individual, por lo cual una situación nutrimental óptima, para todos los nutrientes, se define por el índice DOP igual a cero, dando el orden de limitación tanto por exceso ($DOP > 0$) como por déficit ($DOP < 0$), de cada uno de los elementos (Lucena, 1997). El análisis DOP permite conocer directamente el contenido según el Orden de Requerimiento Nutricional (ORN) entre

los elementos considerados, con base en las necesidades de fertilización (Montañés *et al.*, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo biofortificar frijol var. pinto saltillo con fulvato de níquel y cobalto.

LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

San José de Lourdes se encuentra en el municipio de Fresnillo de González Echeverría el cual está situado al centro del estado de Zacatecas, sus coordenadas son:

- Latitud: 23°18'35" N
- Altitud: 103°01'15" W

La localidad se encuentra a 2042.04 metros sobre el nivel del mar (msnm)



Imágenes 1.- Área de la localidad.



Imágenes 2.- Ubicación del área experimental.

CLIMA DEL ÁREA EXPERIMENTAL

San José de Lourdes, cuenta con una temperatura promedio los 17° C, en el verano las temperaturas más altas alcanzan los 33° C y en el invierno se promedian a 3°C como mínimas. La temporada de lluvias va del mes de junio al mes de septiembre con una precipitación anual de 510mm.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Este trabajo se llevó a cabo con cuatro tratamientos y 10 unidades experimentales, aplicándose dos repeticiones por cada tratamiento en los que el T1 fue tomado como blanco o la manera tradicional de producción.

Tabla 1.- Tratamientos de aplicación de nutrimentos a copa del árbol.

Tratamientos	Concentración
T1 Blanco	-
T2 Fulvato de Níquel	(1mL.L ⁻¹)
T3 Fulvato de Níquel más Cobalto	(2mL.L ⁻¹)
T4 Fulvato de Cobalto	(1mL.L ⁻¹)

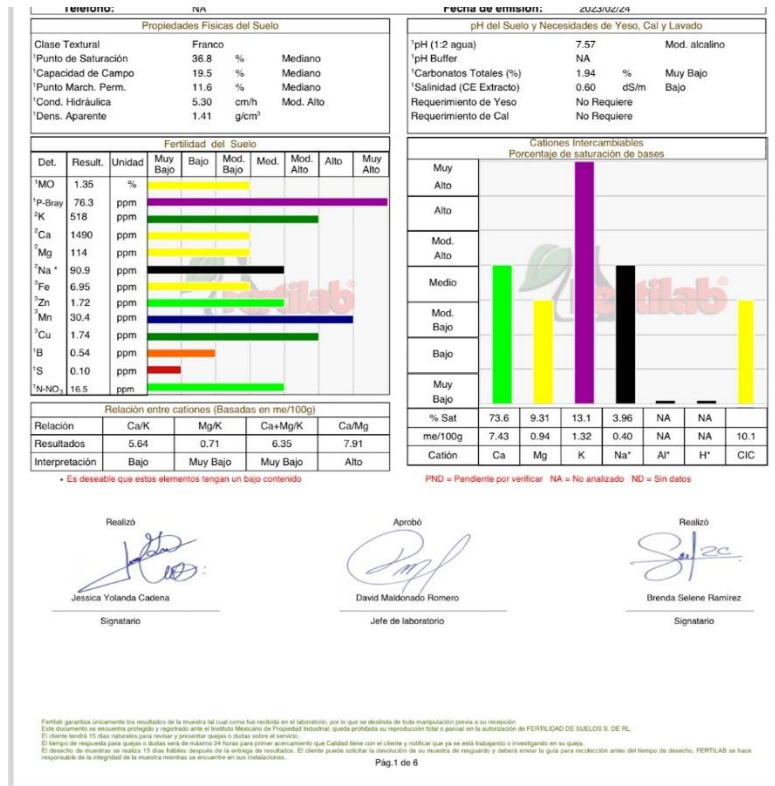
La siembra se realizó el día 8 del mes de julio a una distancia aproximada de 26 cm entre plantas, con un total de 1300 a 1400 plantas por tratamiento es decir un aproximado de 80 mil semillas por hectárea, la sembradora fue la 1015 de John Deere que favorece al ahorro de semillas, siendo de 4 hileras, puede ser utilizada en labranza convencional o labranza reducida ya que permite sembrar y aplicar fertilizantes granulados de tamaño medio e insecticidas microgranulados, hay que recordar el porcentaje de germinación es de un 95%, así como los factores bióticos y abióticos que limitan el desarrollo de la semilla.

Tabla 2.- Siembra.

Sistema	Distancia entre surco	Distancia entre postura cm	Densidad de siembra/Ha
Monocultivo	70 cm	26cm	80 mil

La zona donde se realizó el experimento cuenta con sistema de riego por goteo, esto favorece a mantener cierta humedad, por tanto, los riegos se realizaron de manera constante cada 7 u 8 días.

Se realizó un análisis de suelo antes de la siembra para conocer el estado y las propiedades físicas del suelo en el predio, el cual realizo Fertilab, laboratorio de análisis de suelos y nutricional.



Imágenes 3.- Análisis de suelo.

La textura del suelo es franca, con un pH 7.57, es decir moderadamente alcalino, libre de carbonatos y sales, con un bajo contenido de materia orgánica. En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes el Hierro es bajo y pobre en Boro.

ACTIVIDADES DEL EXPERIMENTO

Se realizó la fertilización foliar a partir de los primeros 8 días después de la germinación, a partir de ahí se realizaron aplicaciones constantes cada 15 días sin excepción durante las primeras horas de las de mañana.

Tabla 3.- Fechas de aplicación.

Aplicación	Fecha
1 ^a	22 - 07 - 2023
2 ^a	05 - 08 - 2023
3 ^a	19 - 08 - 2023
4 ^{ta}	02 - 09 - 2023
5 ^{ta}	16 - 09 - 2023
6 ^{ta}	30 - 09 - 2023

Las aplicaciones, riegos y control de maleza se realizaron en diferentes fechas, entre los meses de julio a septiembre de 2023. Los tratamientos fueron complementados con Nitro-sol de la marca AgroScience (fertilizante foliar con una concentración de 44.77 % de N) y Push (fertilizante liquido inorgánico de aplicación al suelo y foliar), empatando por lo general con algún momento del manejo como la aplicación de los nutrimentos, control de plagas y enfermedades, riegos y/o deshierbes.



Imágenes 4.- Nutrición Sintética.

Tabla 4.- Nutrimentos de síntesis química.

Producto	aplicación	Litros/Agua	Ha
Fertilizante Foliar: NITRO-SOL	1 kg ⁻¹	200L	1
Fertilizante inorgánico líquido: Push	2.5L	200L	1

Se realizó una sola aplicación del insecticida sistémico Tuner sc que es una mezcla de lambda cihalotrina (140g de i.a./l) e imidacloprid (200g de i.a./l) antes de la antesis ya que se considera periodo crítico para el cultivo.



Imágenes 5.- Insecticida sistémico.

Tabla 5 .-Insecticida Inorgánico.

Producto	Aplicación en ml	Litros/Agua	Ha
Insecticida: Tuner sc	250MI	200L	1

Para el control de maleza se realizó de forma manual con el uso de azadón, con el fin de reducir las aplicaciones químicas, además de reducir el deterioro del suelo.

Tabla 6.- Control de maleza.

Deshierbe	Fecha
1era	09 - 08 - 2023
2da	26 - 09 - 2023

El corte se realizó la primera semana del mes de octubre, se metió la cortadora, para luego dejarlo secar ahí en la parcela. A partir del día 30 de octubre se comenzó la medición de peso de grano, numero de grano.

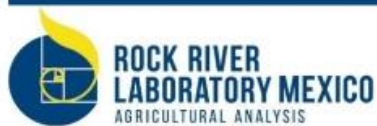


Imágenes 6.-Medición número de grano.



Imágenes 7.-Medición peso de grano.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio ROCK RIVER LABORATORY MEXICO, para la cuantificación de nutrientes de cada muestra.



Num. Lab: F0142
Predio: UAAAN
Ident. Muestra: Frijol Testigo
Asesor: Dr. Rubén López
Fecha de muestreo: 09/11/2023

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

Cultivo / Especie: Frijol

Etapa de Muestreo: 0

Parámetro	Unidad	Valor
Nitrógeno (N)	%	2.98
Fosforo (P)	%	0.46
Potasio (K)	%	1.60
Calcio (Ca)	%	0.18
Magnesio (Mg)	%	0.14
Cobre (Cu)	ppm	8.0
Fierro (Fe)	ppm	418.0
Zinc (Zn)	ppm	24.8
Manganeso (Mn)	ppm	11.9
Boro (B)	ppm	120.5
Sodio (Na)	ppm	400

Análisis realizada por tercero

*Valores de Referencia específicos para la etapa de muestreo

Imágenes 8 .- Resultado de análisis de nutrientes en grano



Num. Lab: F0142
Predio: UAAAN
Ident. Muestra: Frijol Testigo
Asesor: Dr. Rubén López
Fecha de muestreo: 09/11/2023

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

Cultivo / Especie: Frijol

Etapa de Muestreo: 0

Parámetro	Unidad	Valor
Nitrógeno (N)	%	2.98
Fosforo (P)	%	0.46
Potasio (K)	%	1.60
Calcio (Ca)	%	0.18
Magnesio (Mg)	%	0.14
Cobre (Cu)	ppm	8.0
Fierro (Fe)	ppm	418.0
Zinc (Zn)	ppm	24.8
Manganeso (Mn)	ppm	11.9
Boro (B)	ppm	120.5
Sodio (Na)	ppm	400

Análisis realizada por tercero

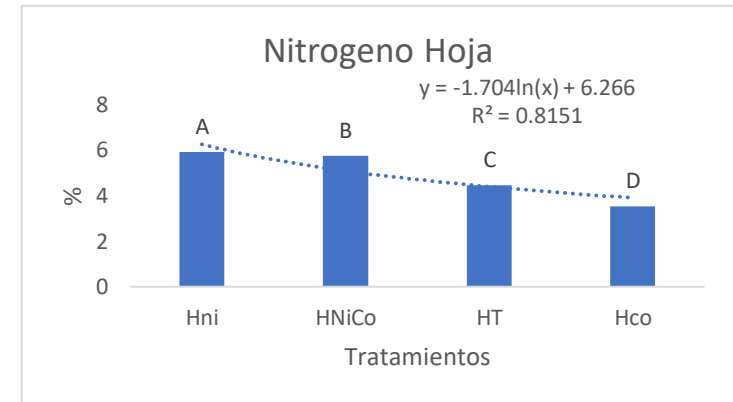
*Valores de Referencia específicos para la etapa de muestreo

Imágenes 9.- Análisis foliar

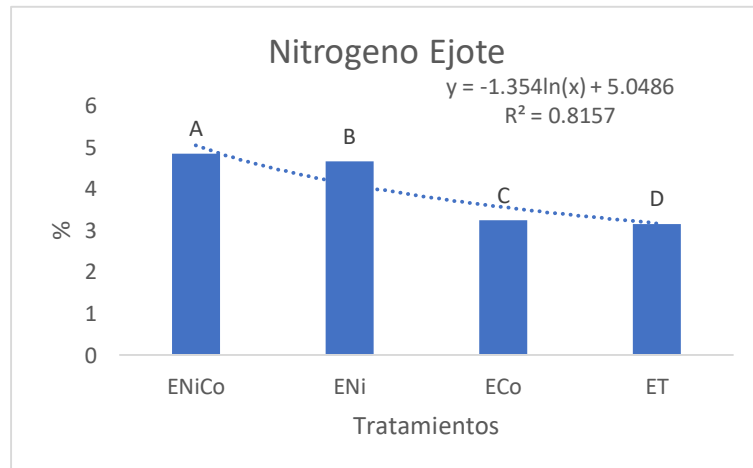
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados del elemento N cuantificados en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Ni resulto superior al testigo absoluto, esto indica que la cantidad de N puede ser aprovechado para alimento de ganado o como forraje.

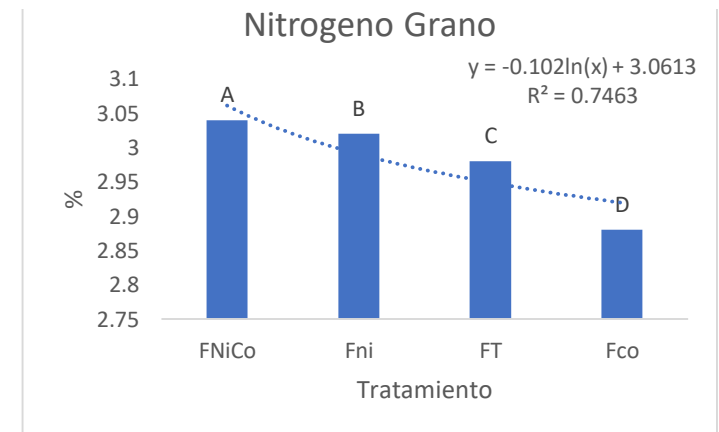
El N cuantificado en ejote y grano, el tratamiento superior fue NiCo, con un porcentaje de 54 y 2 respectivamente al testigo o forma tradicional de producción.



Grafica 1.- Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Hoja.



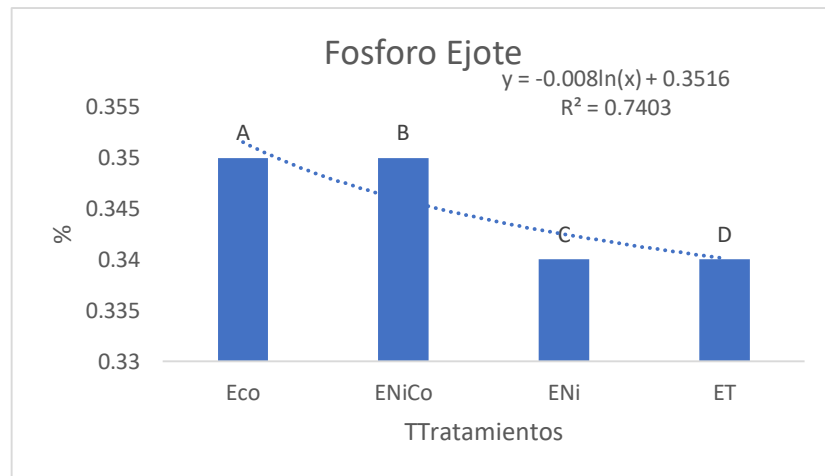
Grafica 3 .- Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Ejote.



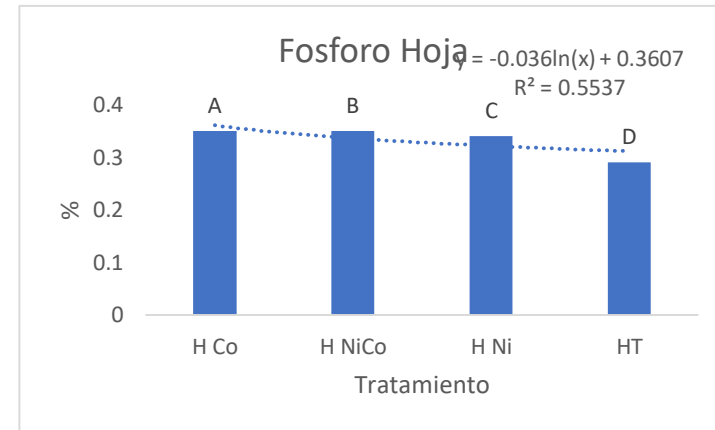
Grafica 2 .-Agrupación de medias de la variable Nitrógeno en Grano.

El fósforo contribuye al desarrollo y promueve la floración en los resultados del elemento cuantificados, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Co resulto superior al testigo absoluto.

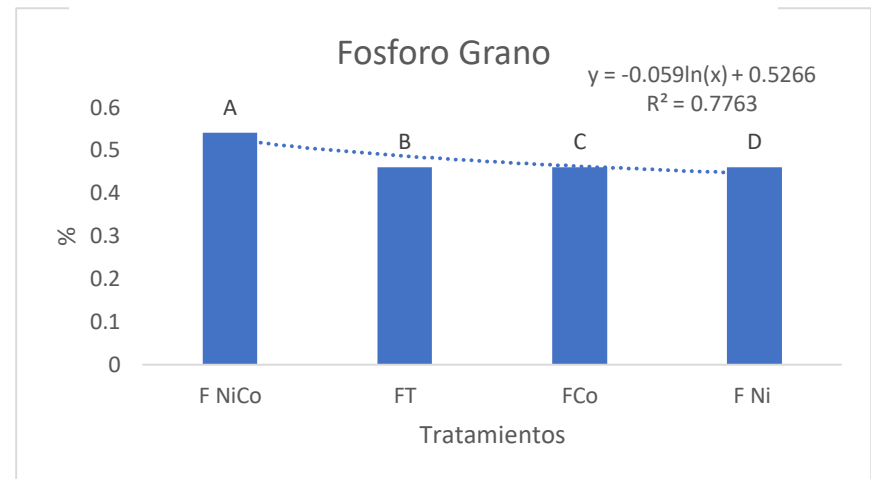
El P cuantificado en ejote el tratamiento superior fue Co, con un porcentaje de 3 y 17.39 en grano respectivamente al testigo o forma tradicional de producción.



Grafica 5.- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Ejote



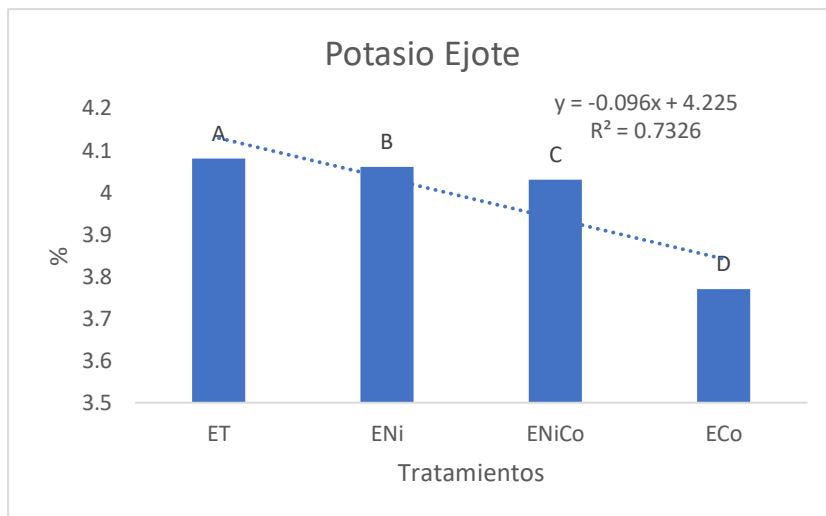
Grafica 4 .- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Hoja.



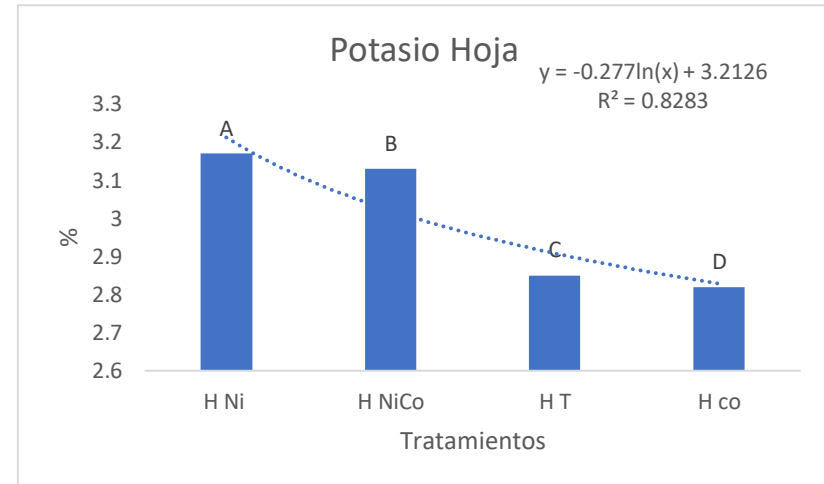
Grafica 6 .- Agrupación de medias de la variable Fosforo en Grano.

El potasio contribuye a el equilibrio iónico y al crecimiento y calidad de frutas y hortalizas, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Ni resulto superior al testigo absoluto con un porcentaje de 11.22.

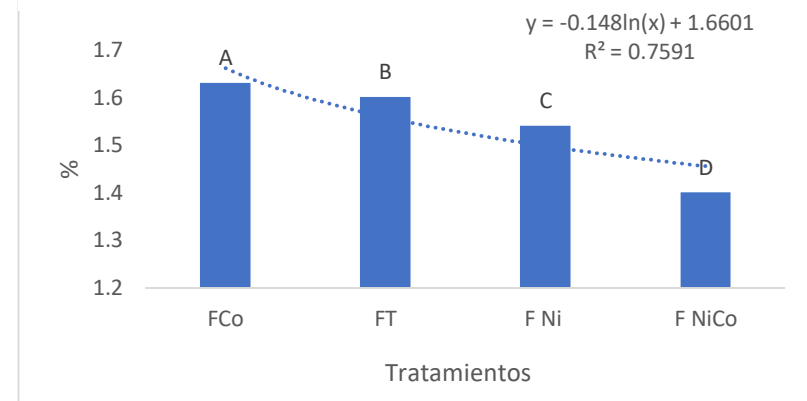
El K cuantificado en ejote el tratamiento superior fue T y 1.87 % en grano respectivamente al testigo o forma tradicional de producción.



Grafica 8 .-Agrupación de medias de la variable Potasio Ejote.



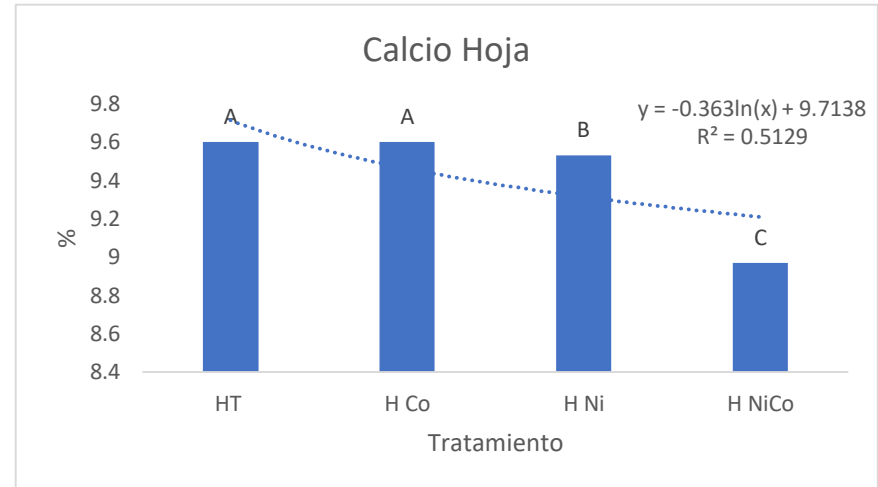
Grafica 7 .- Agrupación de medias de la variable Potasio en Hoja.



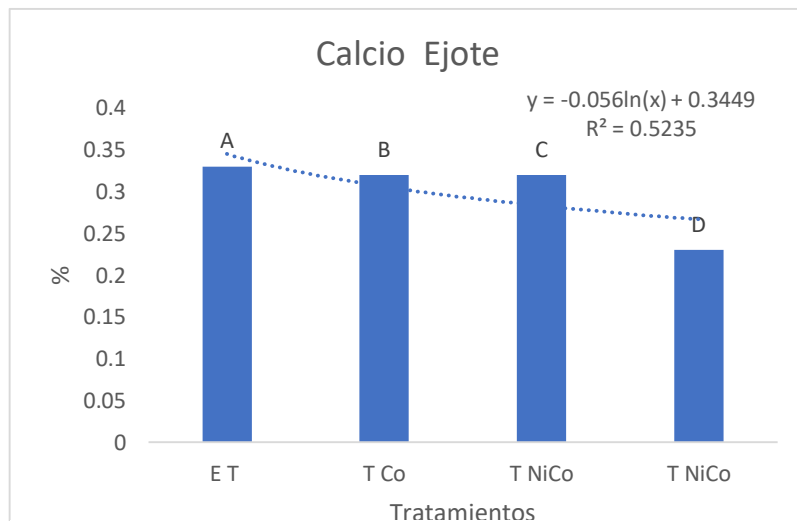
Grafica 9 .- Agrupación de medias de la variable Potasio en Grano.

El calcio contribuye a el equilibrio iónico y al crecimiento y calidad de frutas y hortalizas, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento T resulto superior absoluto.

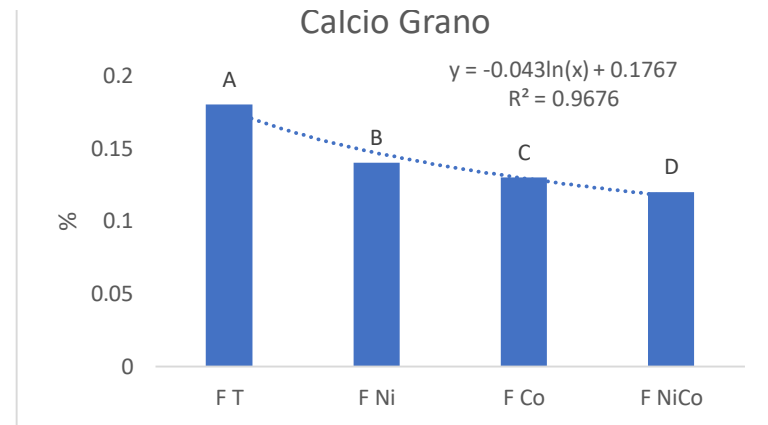
El Ca cuantificado en ejote y grano el tratamiento superior fue T.



Grafica 11.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Hoja.



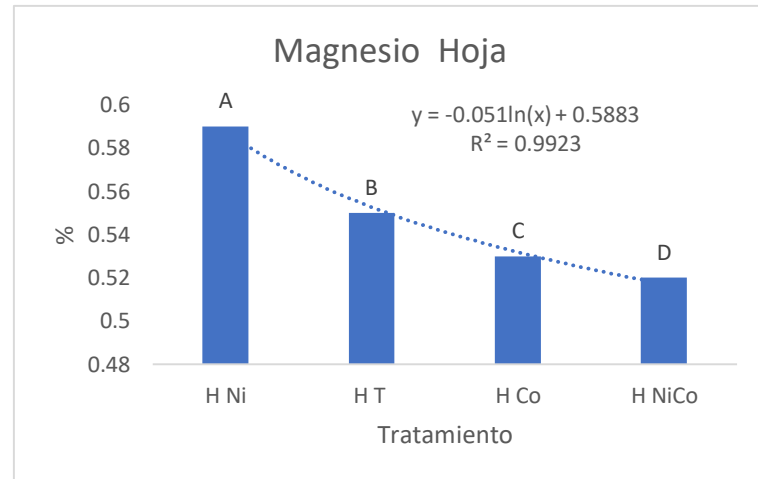
Grafica 10.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Ejote.



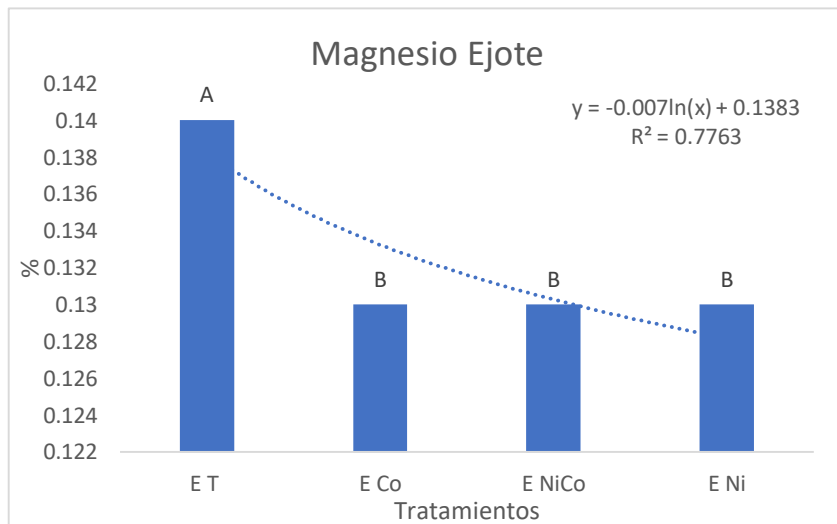
Grafica 12.- Agrupación de medias de la variable Calcio en Grano.

El magnesio es esencial para la fotosíntesis y fijación de CO₂, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Ni resulto superior con un porcentaje de 7.27

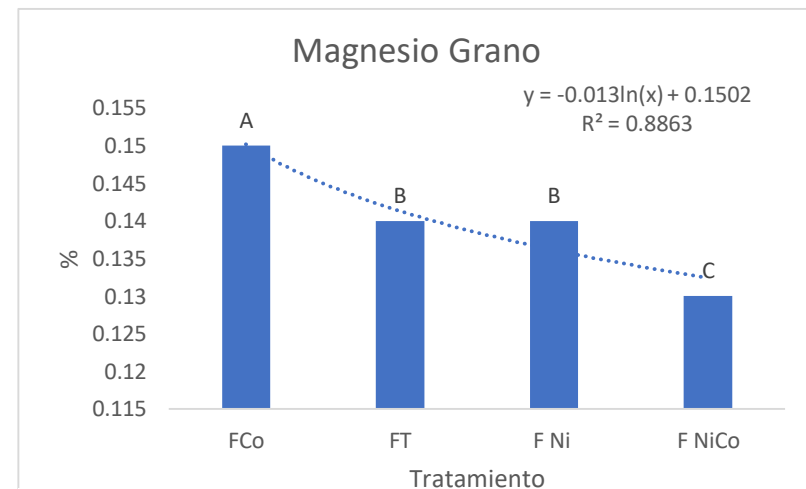
El Mg cuantificado en ejote y grano el tratamiento superior fue T.



Grafica 14.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Hoja.



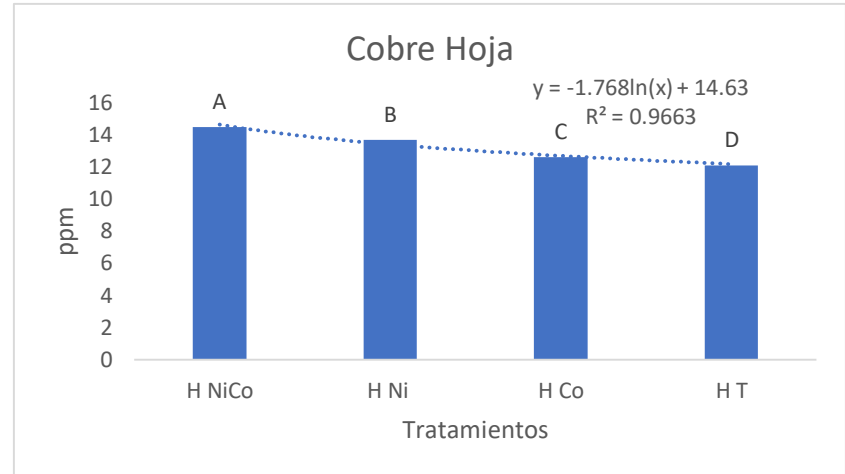
Grafica 15.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Ejote.



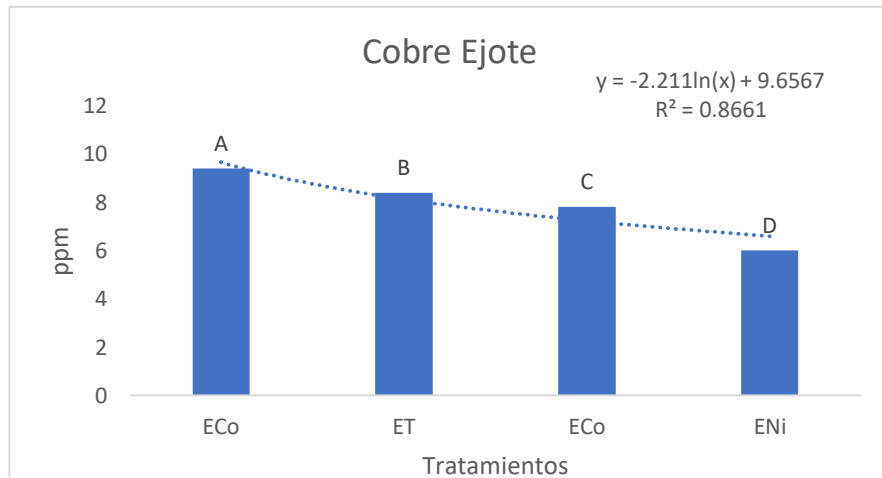
Grafica 13.- Agrupación de medias de la variable Magnesio en Grano.

El cobre es esencial para la formación de polen y semillas y resistencia al estrés, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento NiCo resulto superior con un porcentaje de 19.83

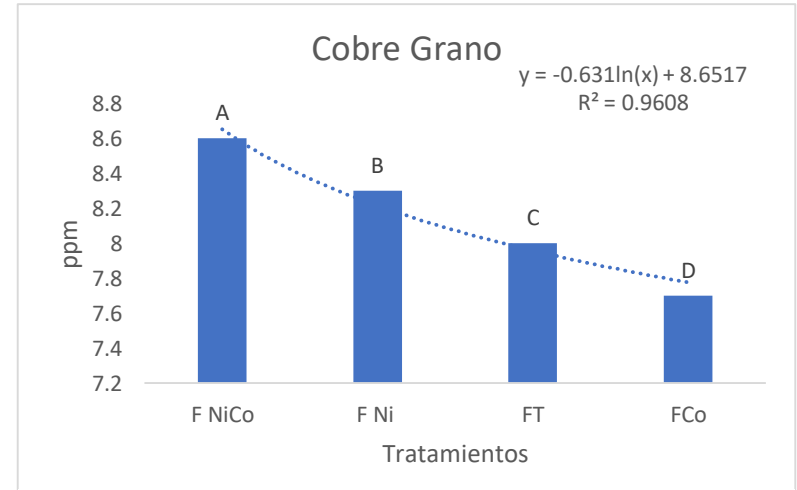
El Cu cuantificado en ejote es de 11.90 en el tratamiento de Co y grano el tratamiento superior fue NiCo con 7.5 a la forma tradicional de cultivo.



Grafica 16.- Agrupación de medias de la variable Cobre en Hoja.



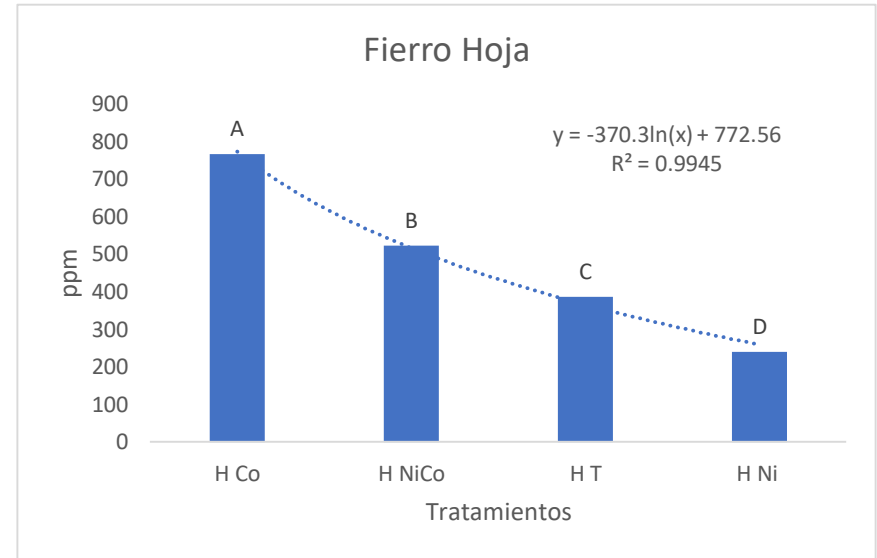
Grafica 16.- Agrupación de medias de la variable Cobre en Ejote.



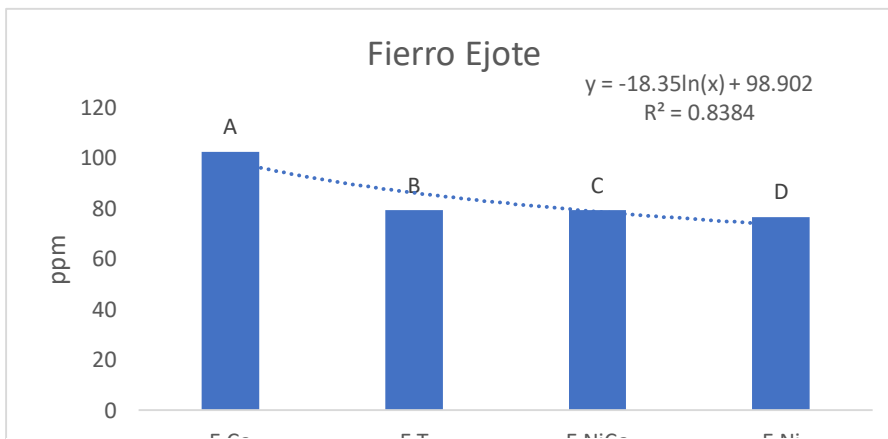
Grafica 17.- Agrupación de medias de la variable Cobre en Grano.

El hierro interviene en la síntesis de clorofila, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Co resulto superior con un porcentaje de 98.57.

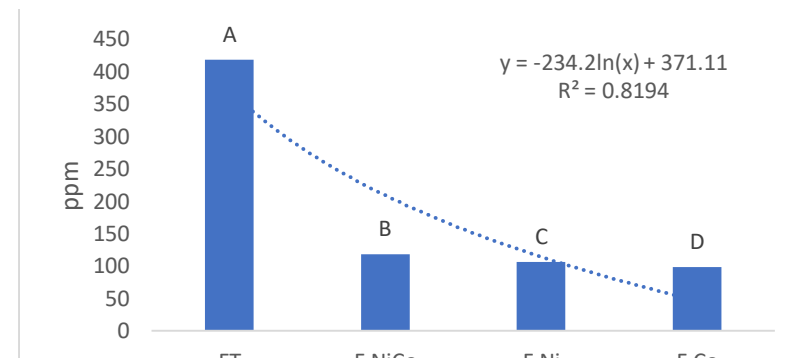
El Fe cuantificado en ejote es de 11.90 en el tratamiento de Co y grano el tratamiento superior fue NiCo con 7.5 a la forma tradicional de cultivo.



Grafica 18.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Hoja.



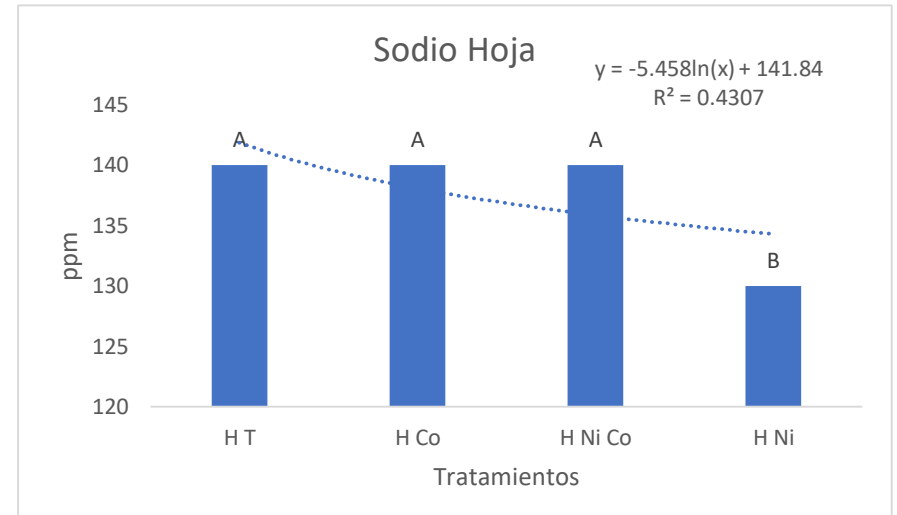
Grafica 20.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Ejote.



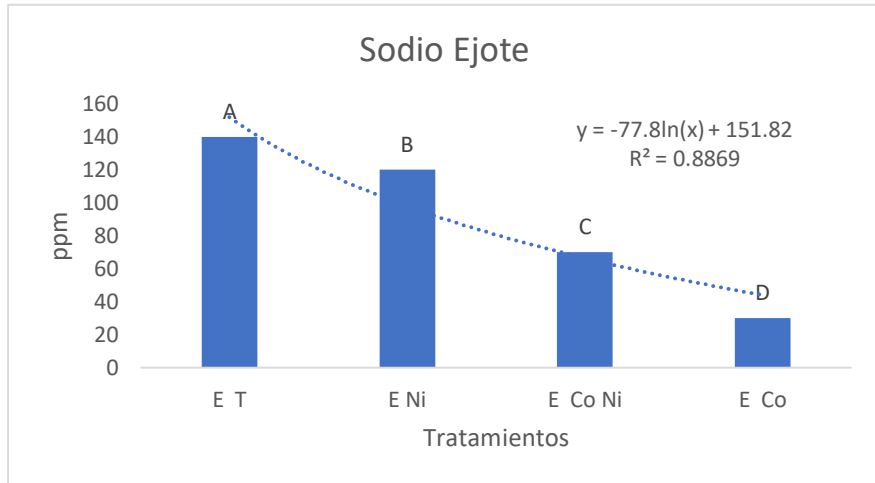
Grafica 19.- Agrupación de medias de la variable Fierro en Grano.

El sodio interviene en la síntesis de clorofila, en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento T resulto superior en comparación al resto

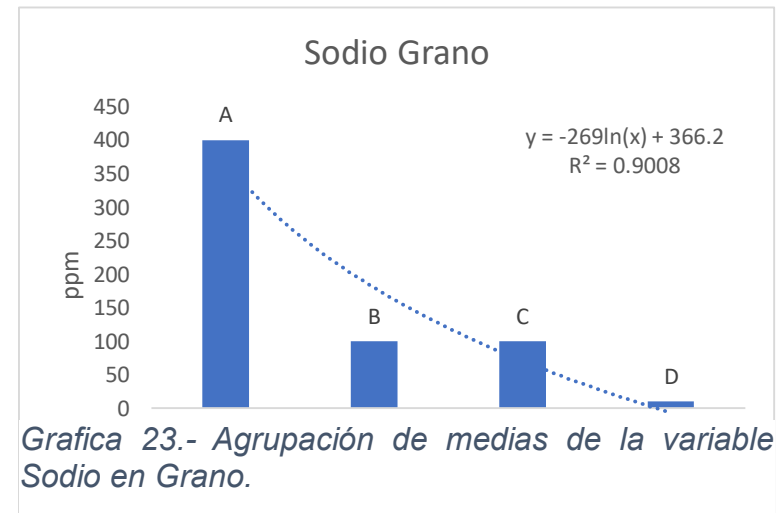
El Na cuantificado en ejote tratamiento de T resulto superior al igual que en grano.



Grafica 21.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Hoja.



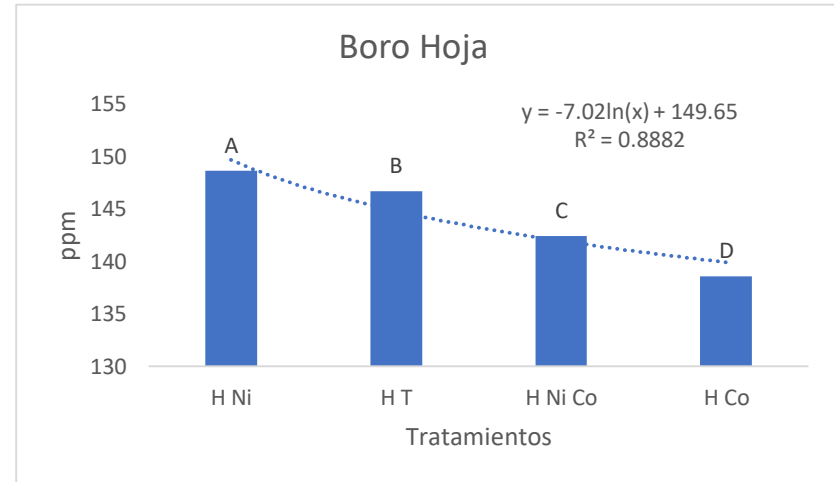
Grafica 22.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Ejote.



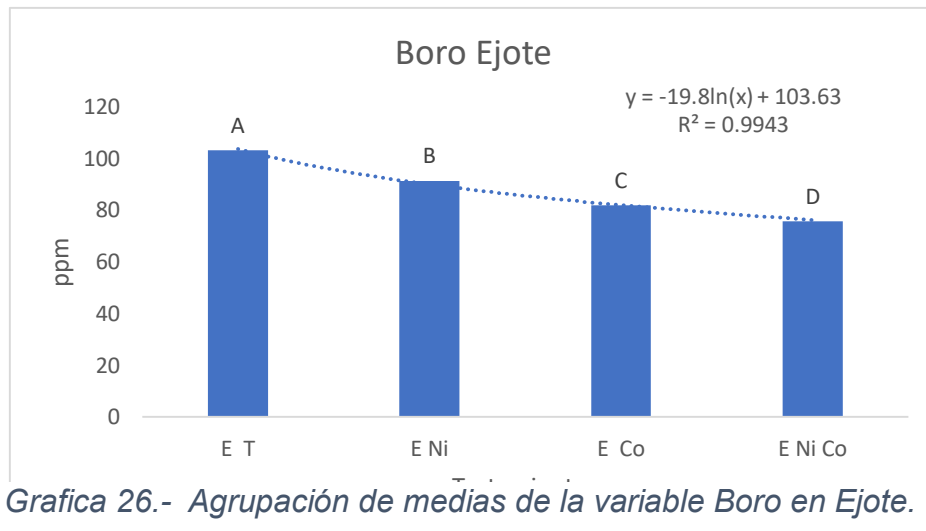
Grafica 23.- Agrupación de medias de la variable Sodio en Grano.

El Boro estimula la producción y retención de flores, germinación en las diferentes etapas del cultivo, en hoja el tratamiento Ni resulto superior en comparación al testigo con un porcentaje de 1.29

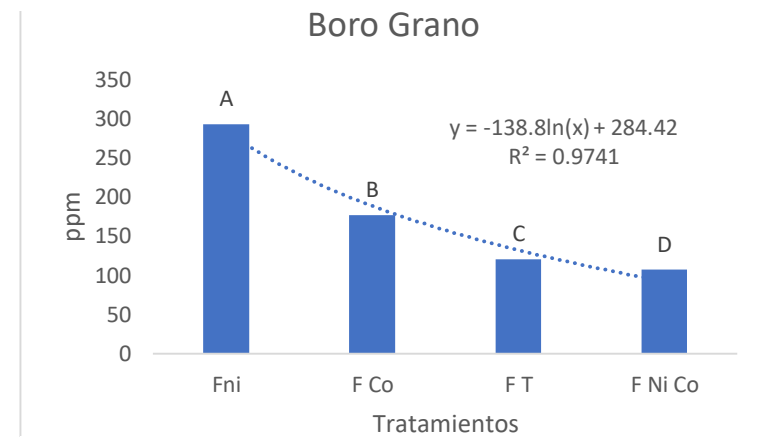
El B cuantificado en ejote tratamiento de T resulto superior, en grano el tratamiento Ni obtuvo un porcentaje de 142.82 superior al testigo o la forma tradicional.



Grafica 24 .- Agrupación de medias de la variable Boro en Hoja.



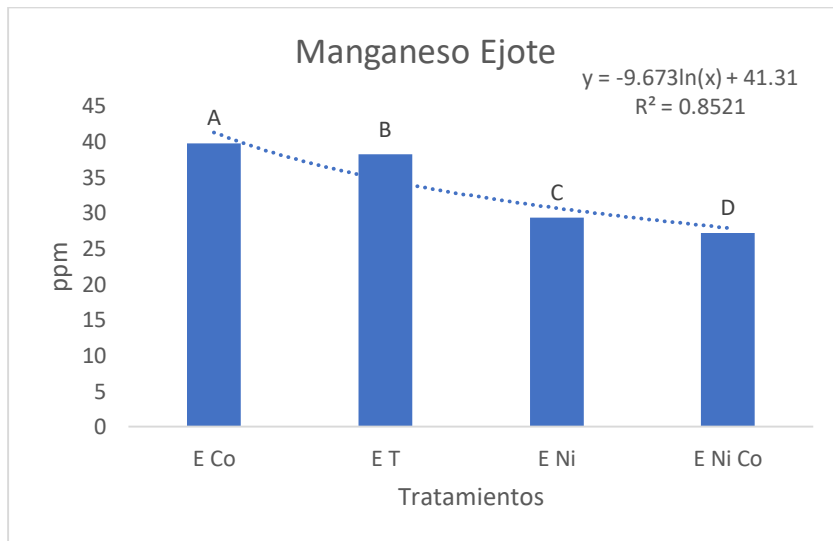
Grafica 26.- Agrupación de medias de la variable Boro en Ejote.



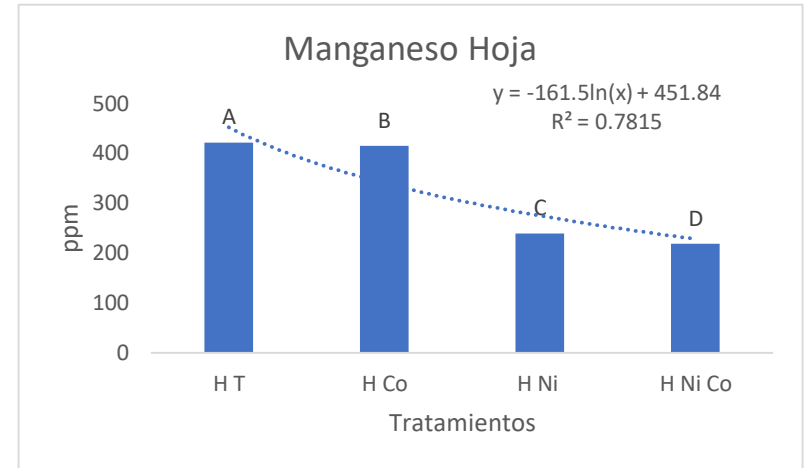
Grafica 25 .- Agrupación de medias de la variable Boro en Grano.

El Manganeso es la base estructural de la fotosíntesis, en hoja el tratamiento T resulto superior en comparación a el resto de los tratamientos.

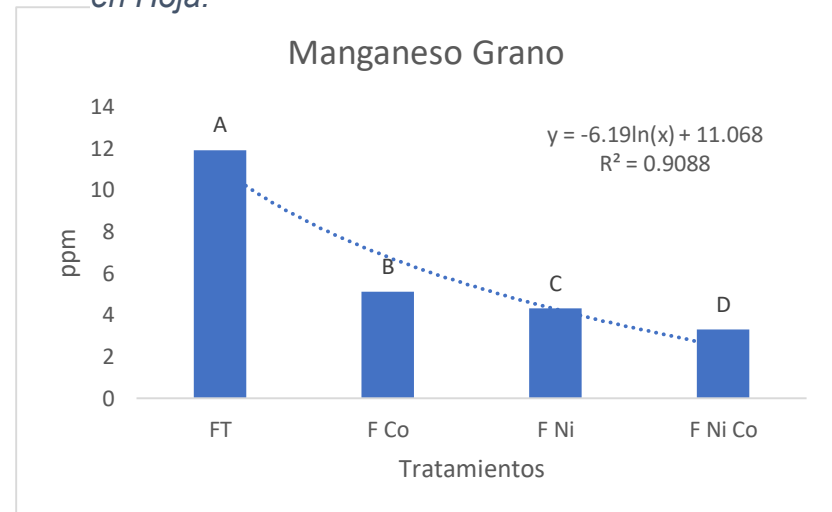
El Mn cuantificado en ejote tratamiento Co resulto superior con un porcentaje de 4.18, en grano el testigo superior al resto de los tratamientos.



Grafica 29 .- Agrupación de medias de la variable Manganeso en Ejote.



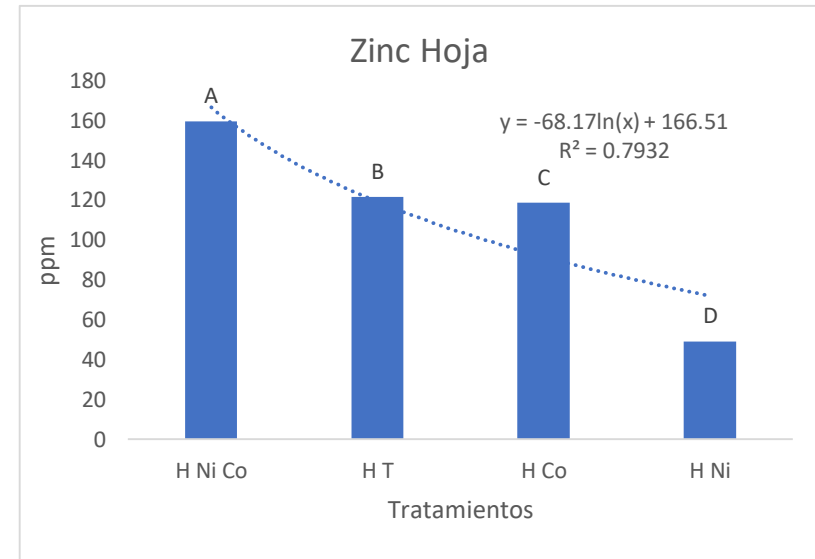
Grafica 28.-Agrupación de medias de la variable Manganeso en Hoja.



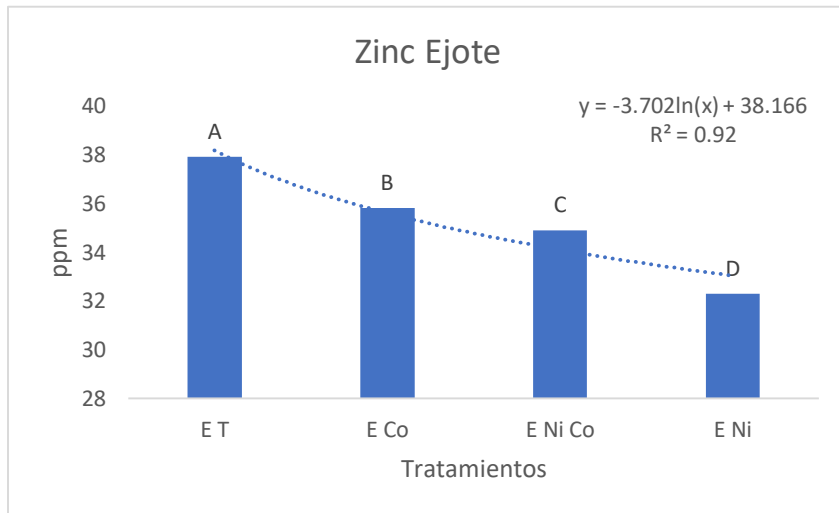
Grafica 27.- Agrupación de medias de la variable Manganeso en Grano.

El zinc es necesario para la síntesis de carbohidratos, en hoja el tratamiento Ni Co resulto superior con 31.03 por ciento en comparación a el resto de los tratamientos.

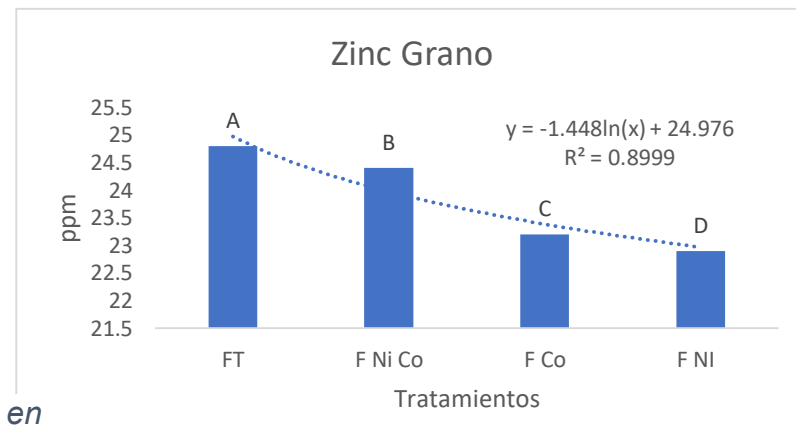
El Zn cuantificado en ejote el T resulto superior a los tratamientos, en grano el testigo superior al resto de los tratamientos.



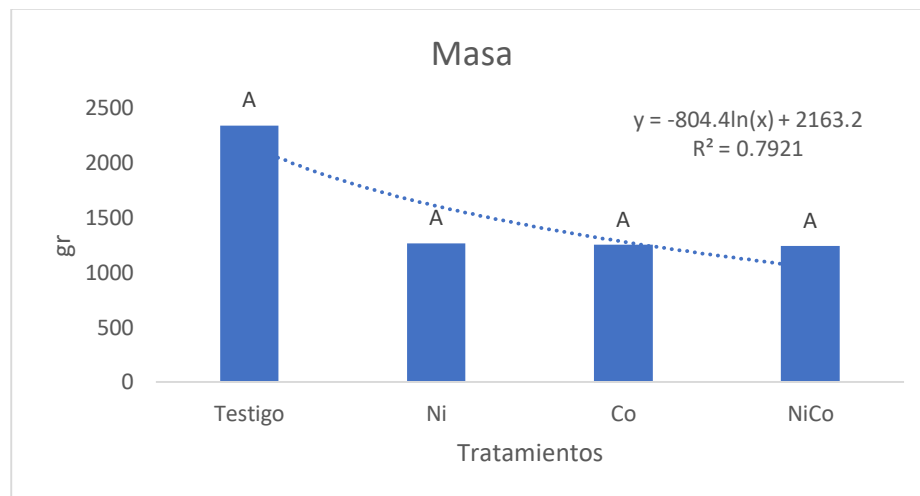
Grafica 30.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Hoja.



Grafica 31.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Ejote.

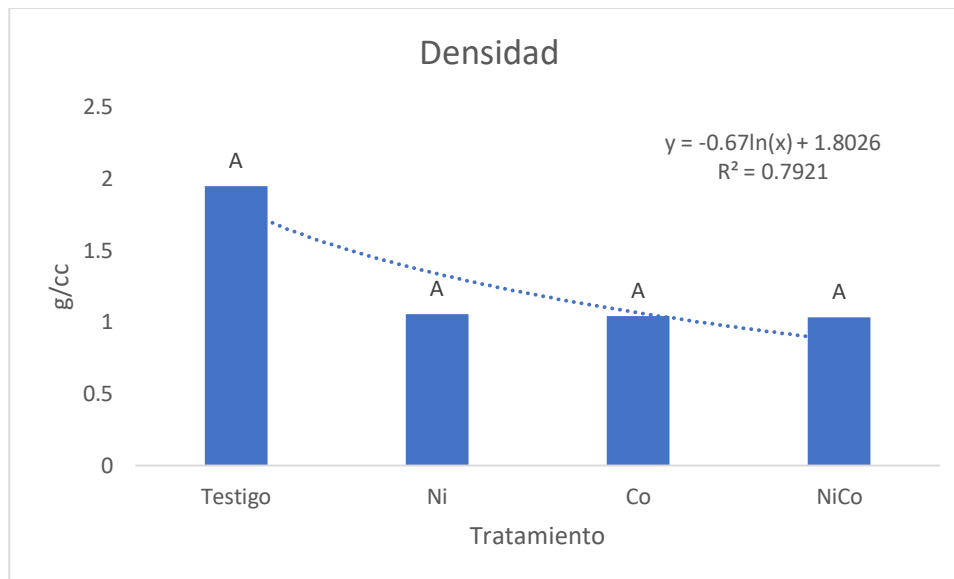


Grafica 32.- Agrupación de medias de la variable Zinc en Grano.



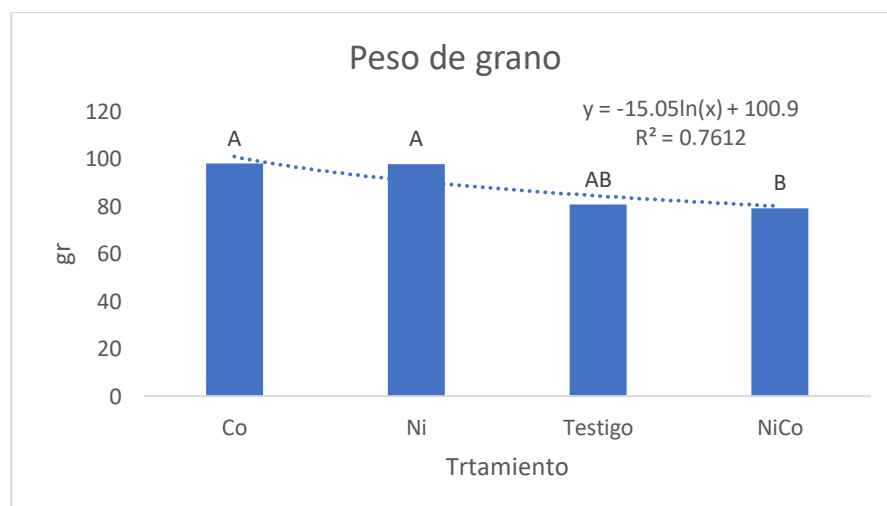
Grafica 33.- Agrupación de medias de la variable masa de frijol var. Pinto Saltillo.

La masa es la cantidad de materia que indica la cantidad de materia que contiene un cuerpo, en relación con esto el testigo supero al resto de los tratamientos.



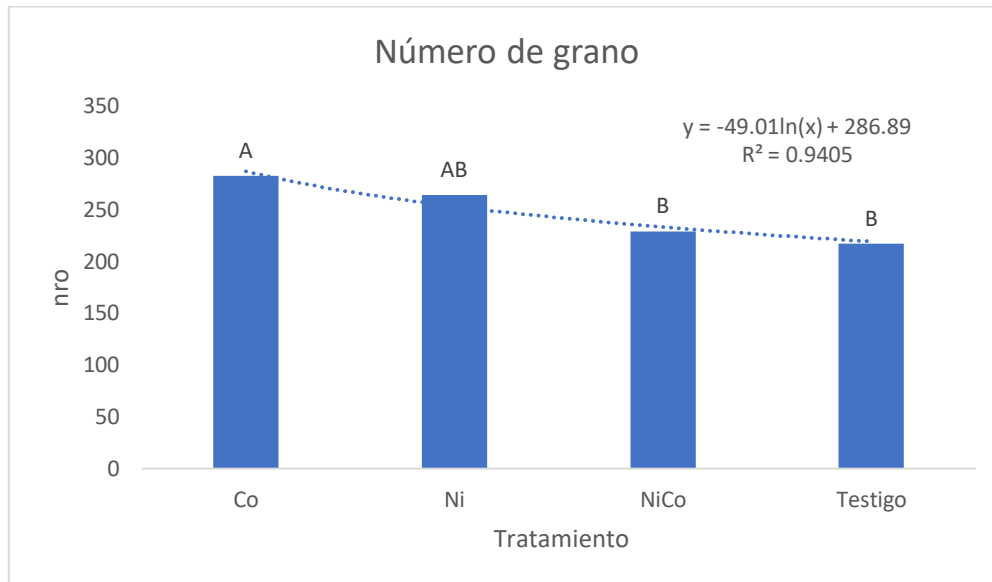
Grafica 34.- Agrupación de medias de la variable densidad de frijol var. Pinto Saltillo.

La densidad indica la cantidad de masa por unidad de volumen, en este caso el tratamiento T resulto ser más denso.



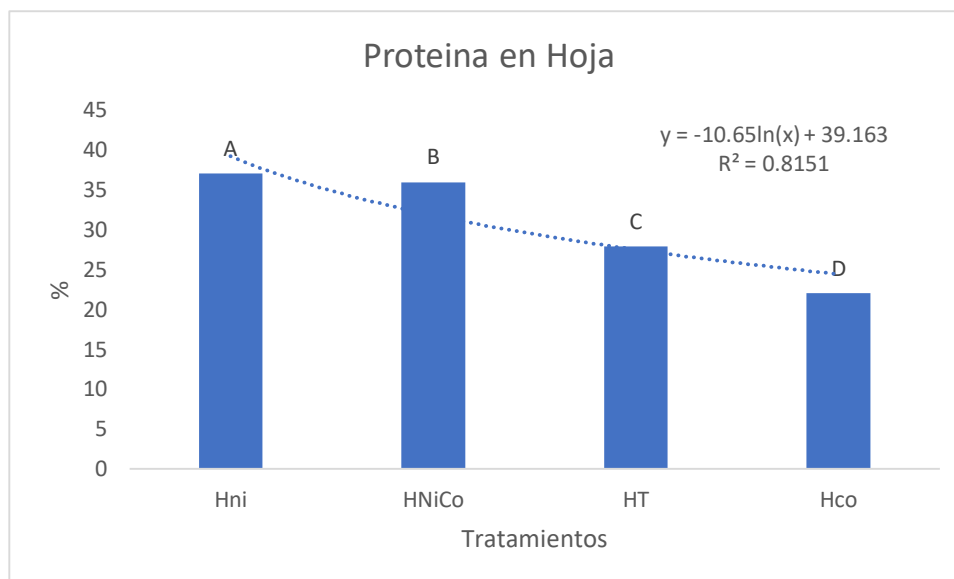
Grafica 35.- Agrupación de medias de la variable peso de grano de frijol var. Pinto Saltillo.

El peso de grano indica la densidad del grano, el tratamiento Co tubo un porcentaje de 21.25 en comparación al T forma tradicional.



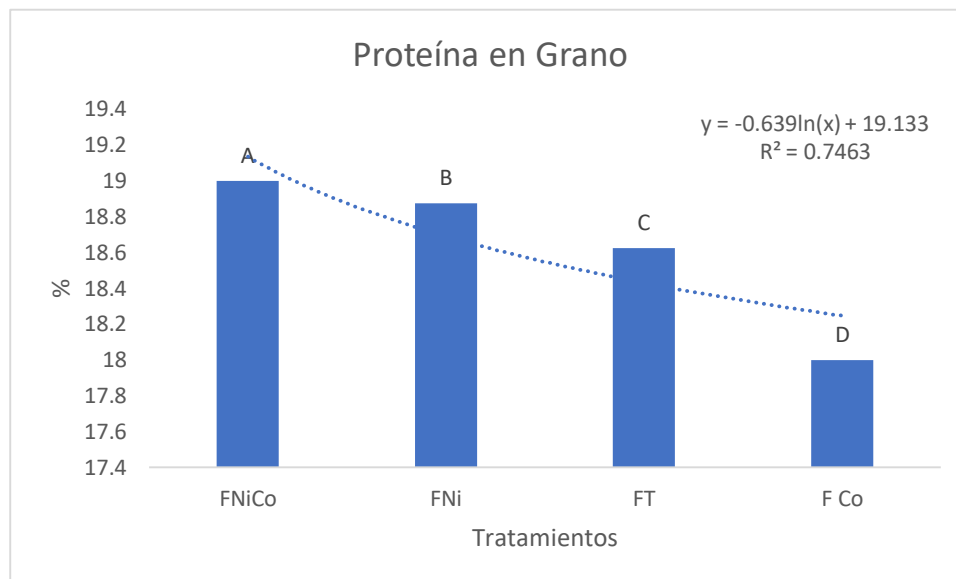
Grafica 36 .- Agrupación de medias de la variable número de grano de frijol var. Pinto Saltillio.

En cuanto al número de grano el tratamiento Co obtuvo un porcentaje de 30.15 más alto en comparación al T forma tradicional.



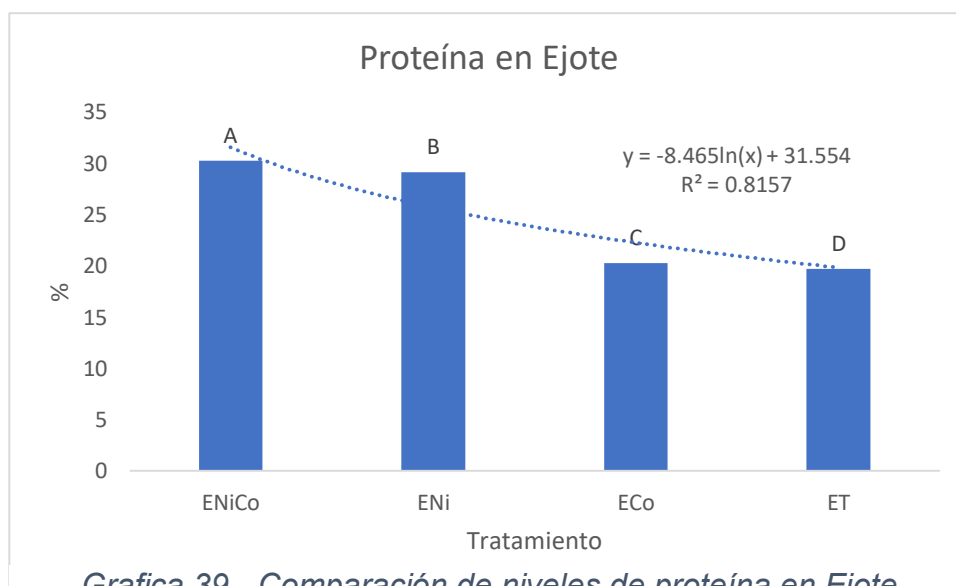
Grafica 37.- Comparación de niveles de proteína en Hoja

El tratamiento Ni en hoja obtuvo un mayor porcentaje de proteína equivalente a 32.75 en comparación al tratamiento T forma tradicional.



Grafica 38.- Comparación de niveles de proteína en Grano

El tratamiento NiCo en grano obtuvo 1.71 por ciento de proteína mayor supero al en tratamiento T.



Grafica 39.- Comparación de niveles de proteína en Ejote

El tratamiento NiCo en ejote obtuvo 53.70 por ciento de proteína mayor al en tratamiento T.

Tabla 7.- DOP Hoja

Tratamiento	DOP
Níquel (Hoja)	P>Mg>K>N>Ca>Cu>Zn>Na>B>Mn>Fe
Níquel + Cobalto (Hoja)	P>Mg>K>N>Cu>Na>B>Zn>Mn>B>Fe
Cobalto (Hoja)	P>Mg>K>N>Ca>Cu>Zn>Na>Mn>B>Fe
Testigo (Hoja)	P>Mg>K>N>Ca>Cu>Zn>Na>B>Fe>Mn

Tabla 8.- DOP Ejote

Tratamiento	DOP
Níquel (Ejote)	Mg>Ca>P>K>N>Cu>Mn>Zn>Fe>B>Na
Níquel + Cobalto (Ejote)	Mg>Ca>P>K>N>Cu>Mn>Zn>Na>B>Fe
Cobalto (Ejote)	Mg>Ca>P>N>K>Cu>Na>Zn>Mn>B>Fe
Testigo (Ejote)	Mg> Ca>P>N>K>Cu>Zn>Mn>Fe>B>Na

Tabla 9.- DOP de Grano

Tratamiento	DOP
Níquel	Mn>Zn>N>Mg>Ca>Cu>K>P>Fe>B>Na
Níquel + Cobalto	Mn>Zn>N>Ca<Mg>K>Cu>P>Fe>B>Na
Cobalto	Mn>Zn>N>Ca>Mg>Cu>K>P>Fe>B>Na
Testigo	N>Zn>Mn>Mg>Cu>Ca>K>P>B>Fe>Na

Seiter *et al.*, 2004; comenta que las leguminosas anuales pueden producir forraje, como la soja, Rao *et al.*, 2002, indica que en frijol genera rendimientos de materia seca superiores a 6 toneladas con 16 % de proteína cruda y 57 % de digestibilidad y fibra detergente ácida de 52 % en la cosecha previa a floración.

Mengel y Kirkby, 2001, consideran al Nitrógeno como un elemento importante que se encuentra en una proporción de 1-3 % con respecto a su materia seca, la

función de este es estructural y osmótico; se relaciona con la síntesis de moléculas, ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides, función osmótica del ión nitrato, en la reducción del potencial hídrico de la vacuola y proceso de osmoregulación.

Piedrahita (2016) considera al Calcio como componente esencial de las paredes de las células y sólo puede ser suministrado por el xilema, es un cofactor reacciones enzimáticas, si la planta agota el suministro del suelo, no puede movilizarlo a tejidos viejos hacia los nuevos, resulta en una disminución en la productividad; válido cuando un cultivo tiene insuficiente calcio en el suelo y llegan las lluvias, para Gómez (2015) es un elemento necesario para las enzimas de las plantas, su función es el fortalecimiento de las paredes celulares y regulación de la permeabilidad, importante para el aumento de grosor de la pared celular y por menor evapotranspiración, estrés hídrico y vigor ante el ataque de plagas y enfermedades.

Cramer *et al.*, 1994; Alam, 1994, señalan una alta concentración de sodio desplaza los iones de calcio de la membrana celular y altera la permeabilidad, causa una pérdida de potasio.

Promix, (2017) menciona el boro no es requerido en cantidades superiores por las plantas, causa lento crecimiento al no ser administrado en niveles adecuados, no hay clorosis asociada a su deficiencia, tiene síntomas de toxicidad similares a los otros micronutrientes.

Kirkby y Romheld, (2008^a), se refieren a la función fisiológica del manganeso como reacción que oxida la molécula de agua durante la reacción de Hill, está directamente involucrado en el sistema transportador de electrones necesarios para la fotofosforilación y producción de NADPH y ATP (Taíz y Zeiger, 2006), Gómez *et al.*, (2006) el manganeso está presente de manera divalente e inmóvil en el floema; su disponibilidad la afecta el proceso de oxidación reducción, pH, materia orgánica, estado hídrico del suelo y actividad microbial.

Kirkby y Romheld, (2008^b) el zinc a diferencia del hierro, cobre, manganeso y molibdeno, es un micronutriente de transición no sujeto a cambios de valencia,

este funciona como ion divalente de enzimas metálicas, ligadas a azufre en compuestos orgánicos.

CONCLUSIÓN

La biofortificación de este cultivo se liga directo al hecho de bioestimular, al suelo, solo se aplicaron cantidades de nutrimentos que son parte de un manejo común, no hubo una nutrición ajustada a el análisis de suelo ya que la finalidad siempre fue la biofortificación y como se menciona esta biofortificación con los tratamientos Ni, Ni+Co y Co genero una bioestimulación.

La biofortificación que se esperaba en las estructuras de hoja, ejote y grano, era con la finalidad de encontrar los elementos de los tratamientos mencionados, sin embargo, la cuantificación de estos vía húmeda por absorción supera los 4000 pesos MN por muestra, por lo que se llegó a la conclusión de investigar que otra función tenían los elementos Cobalto y Níquel.

Los elementos Co y Ni son micronutrimentos que ayudan a la planta el elicitar la absorción de otros, por ejemplo, el cobalto en hoja tratamiento 3 Ni (1ml) + Co (1ml) absorbió 14.43 ppm de Cu, así mismo en esta misma estructura el tratamiento 2 Ni (1ml) 5,93% de N seguido en este mismo tratamiento por el K con 3.17 %; en la estructura del ejote el T4 Co(1ml) obtuvo la mayor cantidad de Cu con 9.4 ppm seguido del N con 4.84 % para el T3 Ni(1ml) + Co(1ml); en grano el T3 Ni(1ml) + Co(1ml) en Cu se obtuvo 8.6 ppm y en N 3.04 %.

La proteína resultante en hoja para el T2 Ni (1ml) 37 % y de 35.93 % para el T3 Ni(1ml) + Co(1ml), en ejote y grano el T3 Ni(1ml) + Co(1ml) resulto con 30.25 y 19 % seguidos del T2 Ni(1ml) 29.12 y 18.87 % respectivamente.

Estos resultados nos indican que de manera individual Ni y Co elicitan la absorción de otros elementos en el suelo y su mezcla de igual manera y la cuantificación del nutrimento fue mayor con la mezcla.

La Desviación del optimo porcentual nos ayudó a conocer la posición del elemento dentro de la planta y esta nos indica cómo va a ser absorbido el nutrimento

en la siguiente etapa fenológico y así poder corregir deficiencia para generar una suficiencia dentro de ese órgano en ese momento.

LITERATURA CITADA

- Al Rayes, Abdul Hadi Jawad (1987) Plant Nutrition Part Two, University Of Baghdad, Ministry Of Higher Education And Scientific Research. P: 253.
- Alam S M (1994) Nutrient Uptake By Plants Under Stress Condition. In: Handbook Of Plant And C
- AL-Bayati, H.J., Ibraheem F.F., Allela,W.B. And D. K.A. AL-Taey .2019. Role Of Organic And Chemicalfertilizer On Growth And Yield Of Two Cultivars Of Pea (*Pisum sativum* L.). Plant Archives Vol. 19,Supplement 1, 2019 Pp. 1249-1253.
- Al-Masoum, Ahmed Abdel-Rahman (1996). The Role Of Ground Covers (Mulches) In The Production Of Vegetables In Dry Areas. Emirates Journal Of Agricultural Sciences, 8: 1-25.
- Al-Rawi, Khasha Mahmoud And Abdulaziz Muhammad Khalaf Allah. (1980). Design And Analysis Of Agricultural Experiments (Dar Al-Kutub Institution For Printing And Publishing, University Of Mosul, Iraq).P: 488.
- Altaey, D. K. A. (2017). Alleviation Of Salinity Effects By Poultry Manure And Gibberellin Application On Growth And Peroxidase Activity In Pepper. International Journal Of Environment, Agriculture And Biotechnology ;2(4) 1851-1862
- AL-Taey, D. K. A., S. S. M. AL-Azawi, M. J. H. AL-Shareefi, And A. R. AL-Tawaha (2018) Effect Of Saline Water, NPK And Organic Fertilizers On Soil Properties And Growth, Antioxidant Enzymes In Leaves And Yield Of Lettuce (*Lactuca sativa* Var. Parris)
- Arkoun, M., Jannin, L., Laîne', P., Etienne, P., Masclaux-Daubresse, C., Citerne, S., Et Al., 2013. A Physiological And Molecular Study Of The Effects

- Of Nickel Deficiency And Phenylphosphorodiamidate (PPD) Application On Urea Metabolism In Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Plant Soil* 362,7992.
- Assunc ^ÃO, A.G.L., Bleeker, P., Ten Bookum, W.M., Vooijs, R., Schat, H., 2008. Intraspecific Variation Of Metal Preference Patterns For Hyperaccumulation In *Thlaspi caerulescens*: Evidence From Binary Metal Exposures. *Plant Soil* 303, 289299.
 - Badiane F.A., Diouf M., Diouf D. 2014. Cowpea. In *Broadening The Genetic Base Of Grain* Singh, M., Bisht, I.S., Dutta, M. Legumes; Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. Volume 79: Pp. 95- 114.
 - Bai, C., Reilly, C.C., Wood, B.W., 2006. Nickel Deficiency Disrupts Metabolism Of Ureides, Amino Acids, And Organic Acids Of Young Pecan Foliage. *Plant Physiol.* 140, 433443.
 - Barragán, C. (2017). Efecto De La Aplicación De Sustancias Húmicas, Fúlvicas Y Fertilización En El Desarrollo De Plántulas De Plátano En Vivero. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Recuperado De <https://Bdigital.Zamorano.Edu/Bitstream/11036/5985/1/CPA-2017-018.Pdf>
 - Bottrell, D. G.: *Integrated Pest Management*. Council On Environmental Quality, U.S. Government Printing Office: Washington, D.C., 1979.
 - Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E., 1987a. Nickel: A Micronutrient Essential For Higher Plants. *Plant Physiol.* 85, 801803.
 - Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E., Checkai, R.T., 1987b. Beneficial Effects Of Nickel On Plant Growth. *J. Plant Nutr.* 10, 21252135.
 - Brown, P.H., Welch, R.M., Madison, J.T., 1990. Effect Of Nickel Deficiency On Soluble Anion, Amino Acid, And Nitrogen Levels In Barley. *Plant Soil* 125, 1927.
 - Buois HE (2002) Plant Breeding: A New Tool For Fighting Micronutrient Malnutrition. *J Nutr* 132:491S–494S
 - Cakmak I (2008) Enrichment Of Cereal Grains With Zinc: Agronomic Or Genetic Biofortification? *Plant Soil* 302:1–17

- Chen, H.; Berndtsson, R.; Ma, M. And Zhu, K. 2009. Characterization Of Insolubilized Humic Acid And Its Sorption Behaviors. *Environ. Geol.* 57:1847-1853.
- Colunga-Garcíamarín (2010) Origin Of Agriculture And Plant Domestication In West Mesoamerica. *Genet. Res. Crop Evol.* 57:813-825.
- Cramer G R , G J Alberico, C Schmidt (1994) Salt Tolerance Is Not Associated With Sodium Accumulation Of Two Maize Hybrids. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:675-692.
- Dalir, N., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2015. Root Uptake And Translocation Of Nickel In Wheat As Affected By Histidine. *Plant Physiol.* 184, 814.
- Departamento De Botánica, Instituto De Biología (IBUNAM), *Phaseolus vulgaris* L., Ejemplar De: Herbario Nacional De México (MEXU), Plantas Vasculares. En Portal De Datos Abiertos UNAM (En Línea), México, Universidad Nacional Autónoma De México. Disponible En: [Http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:451966](http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:451966) Fecha De Actualización: 24/11/2019, 9:17:25 P.M..
- Dilworth, M.J. And Bisseling, T. (1984). Cobalt And Nitrogen Fixation In *Lupinus Angustifolius* L. III DNA And Methionine In Bacteroids. *New Phytologist.* 98: 311-316.
- Dixon, N.E., Gazola, C., Blakeley, R.L., Zerner, B., 1975. Jack Bean Urease (EC 3.5.1.5), A Metalloenzyme. A Simple Biological Role For Nickel? *J. Am. Chem. Soc.* 97, 4131-4133.
- Effect of Nickel Deficiency In Soybeans On The Phytotoxicity Of Foliar-Applied
- Eskew D.L., R.M. Welch, Y E.E. Cary. 1984. Nickel In Higher Plants: Further Evidence For An Essential Role. *Plant Physiology.* 76:691-693. FAO. 2005. *Plant Nutrition.* Consulta Feb 2006 En: [Http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/publicat/faobul4/faobul4/B402.htm](http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/publicat/faobul4/faobul4/B402.htm).
- Eskew, D.L., Welch, R.M., Norwell, W.A., 1984. Nickel In Higher Plants. Further Evidence For An Essential Role. *Plant Physiol.* 76, 691-693.
- Fabiano, C., Tezotto, T., Favarin, J.L., Polacco, J.C., Mazzafera, P., 2015. Essentiality Of Nickel In Plants: A Role In Plant Stresses. *Front. Plant Sci.* 6,

- FAO. 2005. Plant Nutrition. Consulta Feb 2006 En: [Http://Www.Fao.Org/Ag/Agp/Agpc/Doc/Publicat/Faobul4/ Faobul4/B402.Htm](http://www.fao.org/ag/Agp/Agpc/Doc/Publicat/Faobul4/Faobul4/B402.Htm)
- Flores-Céspedes, F.; Fernández-Pérez, M.; Villafranca-Sánchez, M. And González-Pradas E. 2006. Cosorption Study Of Organic Pollutants And Dissolved Organic Matter In A Soil. *Environ. Pollut* 142:449-456.
- Foster, A.W., Osman, D., Robinson, N.J., 2014. Metal Preferences And Metallation. *J. Biol. Chem.* 289, 2809528103.
- Freitas, D., Wurr Rodak, B., Rodrigues Dos Reis, A., De Barros Reis, F., Soares De Carvalho, T., Schulze, J., Et Al., 2018. Hidden Nickel Deficiency?
- Freitas, D.S., Rodak, B.W., Carneiro, M.A.C., Guilherme, L.R.G., 2019. How Does Ni Fertilization Affect A Responsive Soybean Genotype? A Dose Study. *Plant Soil* 441, 567586.
- Freyermuth, S.K., Bacanamwo, M., Polacco, J.C., 2000. The Soybean *Eu3* Gene Encodes An Ni-Binding Protein Necessary For Urease Activity. *Plant J.* 21, 5360.
- Frossard E, Bucher M, Machler F, Mozafar A, Hurrell R(2000) Potential For Increasing The Content And Bio- Availability Of Fe, Zn And Ca In Plants For Human Nutrition. *J Sci Food Agric* 80:861–879
- Gad, N. And Kandil, H. (2012). Influence Of Cobalt Nutrition On Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Herbs Yield Quantity And Quality. *Journal Of Applied Sciences Research.* 8(10): 5184-5189.
- Gepts P, D Debouck (1991) Origin, Domestication And Evolution Of The Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Common Beans. Research For Crop Improvement. A Van Schoonhoven, O Voysest (Eds). C.A.B. International. Pp:7–53.
- Gerendas, J., Zhu, Z., Sattelmacher, B., 1998. Influence Of N And Ni Supply On Nitrogen Metabolism And Urease Activity In Rice (*Oryza Sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 49, 15451554 Urea. *Plant Soil* 135, 283286.
- Gómez, M.; López, M. Y Cifuentes, Y. 2006. El Manganese Como Factor Positivo En La Producción De Papa (*Solanum tuberosum* L.) Y Arveja

- (*Pisum sativum* L.) En Suelos Del Altiplano Cundiboyacense. *Agronomía Colombiana* 24 (2) P 340–347.
- Gómez, V. (2015). El Calcio Y Su Asimilación Por Parte De Las Plantas. *Cannabis Magazine: La Revista De Los Profesionales Y Amantes Del Cáñamo*, (125), 58-63.
 - Graham RD, Welch RM, Saunders DA, Ortiz- Monasterio I, Bouis HE, Bonierbale M, Haan DE, Burgos G, Thiele G, Liria R, Meisner CA, Beebe SE, Potts MJ, Kadian M, Hobbs PR, Gupta RK, Twomlow S (2007) Nutritious Subsistence Food Systems. *Adv Agron* 92:1–74
 - Guzmán Maldonado, Salvador Horacio; Acosta Gallegos, Jorge Alberto; Álvarez Muñoz, María De Los Ángeles; García Delgado, Sonia; Loarca Piña, Guadalupe Calidad Alimentaria Y Potencial Nutracéutico Del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agricultura Técnica En México*, Vol. 28, Núm. 2, Julio-Diciembre, 2002, Pp. 159-173
 - Hayes, M. H. B.; Maccarthy, P.; Malcolm, R. L. And Swift, R. S. 1989. The Search For Structure: Setting The Scene. In *Humic Substances II: In Search Of Structure*. (Eds.) Wiley New York. 3-31 Pp.
 - He, S., He, Z., Yang, X., Baligar, V.C., 2012. Mechanisms Of Nickel Uptake And Hyperaccumulation By Plants And Implications For Soil Remediation. *Adv. Agron.* 117, 117189
 - Herrera MP. La Biofortificacion Del Arroz Con Micronutrientes: Una Estrategia Nutricional Que Puede Ser Sostenible En Cuba. *Rev Cubana Aliment Nutr.* 2011; 21(1): 153-8.
 - Hintz, R. W.; Albrecht, K. A. And Oplinger, E. S. 1992. Yield And Quality Of Soybean Forage As Affected By Cultivar And Management Practices. *Agron. J.* 84:795-798.
 - HOPKINS, W. G. 1995. *Introduction To Plant Physiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 464 P.
 - Horak, O., 1985. Zur Bedeutung Des Nickels Fu'R Fabaceae. II. Nickelaufnahme Und Nickelbedarf Von *Pisum sativum* L. *Phyton (Austria)* 25,301307

- [Http://Dx.Doi.Org/10.22161/ljeab/2.4.49](http://Dx.Doi.Org/10.22161/ljeab/2.4.49)
- Island) Res. Crops 19 : 441-449. DOI : 10.31830/2348-7542.2018.0001.14
- JONES, J.B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRS Press. LLC. Boca Raton, USA. 149 P.
- Kaplan L, T F Lynch, C E Smith (1973) Early Cultivated Beans (*Phaseolus Vulgaris*) From An Intermontane Peruvian Valley. Science 179:76-77.
- Kerkeb, L., Kraimer, U., 2003. The Role Of Free Histidine In Xylem Loading Of Nickel In *Alyssum lesbiacum* And *Brassica juncea*. Plantphysiol.131,716724.
- Kirkby, E. Y Romheld, V. 2008a. Micronutrientes En La Fisiología De Las Plantas: Funciones, Absorción Y Movilidad (Primera Parte). Informaciones Agronómicas 68: P.1 – 6.
- Kirkby, E. Y Romheld, V. 2008b. Micronutrientes En La Fisiología De Las Plantas: Funciones, Absorción Y Movilidad (Segunda Parte). Informaciones Agronómicas 69: P.9 – 13.
- Klucas, R.V., Hanus, F.J., Russell, S.A., Evans, H.J., 1983. Nickel: A Micronutrient Element For Hydrogen-Dependent Growth Of *Rhizobium Japonicum*
- Korner, L.E., Møller, I.M., Jensen, P., 1986. Free Space Uptake And Influx Of Ni²¹ In Excised Barley Roots. Physiol. Plant. 68, 583588.
- Krogmeier, M.J., McCarty, G.W., Shogren, D.R., Bremner, J.M., 1991.
- Kutman, B.Y., Kutman, U.B., Cakmak, I., 2014. Effects Of Seed Nickel Reserves Or Externally Supplied Nickel On The Growth, Nitrogen Metabolites And Nitrogen Use Efficiency Of Urea- Or Nitrate-Fed Soybean. Plant Soil 376, 261276.
- Kutman, B.Y., Kutman, U.B., Cakmak, I., 2014. Effects Of Seed Nickel Reserves Or Externally Supplied Nickel On The Growth, Nitrogen Metabolites And Nitrogen Use Efficiency Of Urea- Or Nitrate-Fed Soybean. Plant Soil 376, 261276.
- Ladizinsky G (1998) Plant Evolution Under Domestication. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 256 P.

- Lazo, V., Ascencio, J., Ugarte, J. Y Yzaguirre, L. (2014). Efecto Del Humusbol (Humato Doble De Potasio Y Fósforo) En El Crecimiento Del Maíz En Fase Vegetativa. *Bioagro*, 26(2), 143–152.
- Leterme P, Muñoz C (2002) Factors Influencing Pulse Consumption In Latin América. *Brit. J. Nutr.* 88: S251-S254.
- Li, Y.J., Zamble, D.B., 2009. Nickel Homeostasis And Nickel Regulation: An Overview. *Chem. Rev.* 109, 46174643.
- Li, Y.J., Zamble, D.B., 2009. Nickel Homeostasis And Nickel Regulation: An Overview. *Chem. Rev.* 109, 46174643.
- Lucena, J. 1997. Methods Of Diagnosis Of Mineral Nutrition Of Plant A Critical Review. *Acta Hort.* 448, 179-192p. <https://doi.org/10.17660/Actahortic.1997.448.28>
- Maier, R.J., Pihl, T.D., Stults, L., Sray, W., 1990. Nickel Accumulation And Storage In *Bradyrhizobium japonicum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 1905-1911
- Malavolta, E., G.C. Vitti, Y S.A. De Oliveira. 1997. Avaliação Do Estado Nutricional Das Plantas: Princípios E Aplicações. Ed. POTAFOS, 2da Ed., Rev. E Actual. Piracicaba, Brasil. 319 P
- Malavolta, E., G.C. Vitti, Y S.A. De Oliveira. 1997. Avaliação Do Estado Nutricional Das Plantas: Princípios E Aplicações. Ed. POTAFOS, 2da Ed., Rev. E Actual. Piracicaba, Brasil. 319 P
- MARSCHNER, H. 1998. Mineral Nutrition Of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press Inc. San Diego, USA. 889 P.
- Mengel, K. Y E. Kirkby. 2000. Princípios De Nutrición Vegetal. International Potash Institute. Basel. Pp. 245-549.
- Messina MJ. Legumes And Soybeans: Overview Of Their Nutritional Profiles And Health Effects. *Am J Clin Nutr.* 1999; 70 (3): 439S-450S.
- Monge A., Macias L., Campos H., Lajous M., Mattei J. 2019. Perceptions And Reasons For Legume Consumption In Mexico. *Nutrition & Food Science* 49(6): 1232-1242.

- Montañés, L., Heras, L., Abadía, J. Y Sanz, M. 1993. Plant Analysis Interpretation Based On A New Index: Deviation From Optimum Percentage (DOP). J. Plant Nutr. 16, 1289- 1308
- Morales-Morales A.E., Andueza-Noh R.H., Márquez-Quiroz C., Benavides-Mendoza A., Tunsuarez J.M., González-Moreno A., Alvarado López C.J. 2019. Caracterización Morfológica De Semillas De Frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) De La Península De Yucatán. Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios 6(18): 463-475
- Musana R. F.; Rucamumihigo F. X. Nirere D. And Mbaeaka S. R. 2020. Growth And Yield Performance Of Common Vean (*Phaseolus vulgaris* L.) As Influenced By Plant Density At Nyagatare, East Rwanda. Afr. J. Food Agric. Nutr. 20: 16249-16261
- Mustafiz, A., Ghosh, A., Tripathi, A.K., Kaur, C., Ganguly, A.K., Bhavesh, N.S., Et Al., 2014. A Unique Ni²⁺-Dependent And Methylglyoxal-Inducible
- Nassourou M.A., Njintang Y.N., Noubissié T.J.B., Nguimbou R.M., Bell J. M. 2016. Genetics Of Seed Flavonoid Content And Antioxidant Activity In Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). The Crop Journal 4(5): 391-397.
- Nestel P, Buois HE, Meenakshi JV, Pfeiffer W (2006) Biofortification Of Staple Food Crops. J Nutr 136:1064–1067
- Nickel Fertilization Via Soil Improves Nitrogen Metabolism And Grain Yield In Soybean Genotypes. Front. Plant Sci. 9, 614.
- Nishida, S., Kato, A., Tsuzuki, C., Yoshida, J., Mizuno, T., 2015. Induction Of Nickel Accumulation In Response To Zinc Deficiency In *Arabidopsis thaliana*. Int. J. Mol. Sci. 16, 94209430.
- Ortega Ruiz, D.E. (2014). Evaluación Del Comportamiento Agronómico De Genotipos De Papa (*Solanum tuberosum*) Con Altos Contenidos De Hierro Y Zinc En Dos Localidades De La Sierra Ecuatoriana. (Tesis De Ingeniería). Universidad Central Del Ecuador, Facultad De Ciencias Agrícolas, Carrera De Ingeniería Agronómica. 2014. Quito, Ecuador.
- Palmgren, M. G., Clemens, S., Williams, L. E., Kraemer, U., Borg, S., Schjorring, J. K., Et Al. (2008). Zinc Biofortification Of Cereals: Problems And

Solutions. Trends Plant Sci. 13, 464–473. Doi: 10.1016/J.Tplants.2008.06.005

- Pereira MA, Jacobs DR, Pins JJ, Raatz SK, Gross MD, Slavin JL And Seaquist E R. Effect Of Whole Grains On Insulin Sensitivity In Overweight Hyperinsulinemic Adults. Am J Clin Nutr. 2002; 75: 848 -855.
- Pérez, H. P. 1999. Proyecto. Diagnóstico De La Calidad Del Grano De Frijol Para Consumo Directo E Industrial Para El Estado De México. CEVAMEX-INIFAP.
 - Phytol. 227, 714721.
- Piedrahita, O. 2016. El Calcio En Las Plantas. Disponible En Http://Www.Nuprec.Com/Nuprec_Sp_Archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20e n %20Plantas.Pdf
- Pisuña Pisuña, José Manuel (2015). Biofortificación Agronómica De La Papa (*Solanum tuberosum* L.) Mediante La Aplicación De Zinc (Zn) Al Suelo Y Follaje. Tesis De Grado Previa A La Obtención Del Título De Ingeniero Agrónomo. Carrera De Ingenieria Agronómica. Quito: UCE. 2015. 138 P.
- Polacco, J.C., Mazzafera, P., Tezotto, T., 2013. Opinion Nickel And Urease In Plants: Still Many Knowledge Gaps. Plant Sci. 199, 7990.
- Promix. 2017. Rol Del Boro En El Cultivo De Plantas. Disponible En <Https://Www.Pthorticulture.Com/Es/Centro-De-Formacion/Rol-Del-Boro-En-Elcultivo-De-Plantas/>
- Quintana E. Las Leguminosas En La Alimentación Venezolana Durante Cinco Décadas 1945-1997. Trabajo De Ascenso Presentado Ante La Universidad Central De Venezuela Para Optar A La Categoría De Profesor Asociado En El Escalafón Del Personal Docente. 1998. P 35-48.
- Rao, S. C.; Coleman, S. W. And Mayeux, H. S. 2002. Forage Production And Nutritive Value Of Selected Pigeonpea Ecotypes In The Southern Great Plains. Crop Sci. 42:1259-1263.
- Rengel Z, Batten GD, Crowley DE (1999) Agronomic Approaches For Improving The Micronutrient Density In Edible Portions Of Field Crops. Field Crop Res 60:27–40

- Reta, S. D. G.; Serrato, C. J. S.; Figueroa, V. R.; Cueto, W. J.A.; Berumen, P. S. Y Santamaría, C. J. 2008. Cultivos Alternativos Con Potencial De Uso Forrajero En La Comarca Lagunera. INIFAP- CIRNOC-CELALA. Libro Técnico Núm. 3. 268 P.
- Rice Glyoxalase I Possesses A Single Active Site And Functions In Abiotic Stress Response. *Plant J.* 78, 951963.
- Schoonhoven, A. Van; C. Cardona: «Insectos Y Otras Plagas De Frijol En América Latina», Problemas De Producción Del Frijol. Enfermedades, Insectos, Limitaciones Edáficas Climáticas De *Phaseolus vulgaris*, Centro Nacional De La Agricultura Tropical, 1996.
- Seiter, S.; Altemose, C. E. And Davis, M. H. 2004. Forage Soybean Yield And Quality Responses To Plant Density And Row Distance. *Agron. J.* 96:966-970. [[Links](#)]
- Sheaffer, C. C.; Orf, J. H.; Devine, T. E. And Jewett, J. G. 2001. Yield And Quality Of Forage Soybean. *Agron. J.* 93:99-106.
- Singla-Pareek, S.L., Kaur, C., Kumar, B., Pareek, A., Sopory, S.K., 2020. Reassessing Plant Glyoxalases: Large Family And Expanding Functions. *New*
- Stein AJ, Meenakshi JV, Qaim M, Nestel P, Sachdev HPS, Bhutta ZA (2008) Potential Impacts Of Iron Biofortification In India. *Soc Sci Med* 66 (8):1797–1808
- Taíz, L. Y Zeiger, E. 2006. *Fisiología Vegetal*, 3 Ed. Universitat De Jaume I. Castelló De La Plana, ES. P 1338.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associated, Inc. Sunderland, USA. 792 P
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associated, Inc. Sunderland, USA. 792 P.
- Thauer, R.K., 2001. Nickel To The Fore. *Science* 293, 12641265262263. And Expression Of Urease Activity In Soybean Leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 80, 22532257.

- Thauer, R.K., Diekert, G., Schönheit, P., 1980. Biological Role Of Nickel. Trends Biochem. Sci. 5, 304306.
- Toro O, J Tohme, D Debouck (1990) Wild Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.): Description And Distribution. International Board For Plant Genetic Resources (IBPGR) And Centro Internacional De Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 106 P.
- Ureta, A.C., Imperial, J., Ruiz-Argu' Eso, T., Palacios, J.M., 2005. Rhizobium Leguminosarum Biovar Viciae Symbiotic Hydrogenase Activity And Processing Are Limited By The Level Of Nickel In Agricultural Soils. Appl. Environ. Microbiol. 71, 76037606.
- Vega, W. (2016). "Evaluación Del Rendimiento De Pimiento (*Capsicum annum*) Mediante La Aplicación Edáfica De Extractos De Algas Marinas (*Ascophyllum nodosum*), Ácidos Húmicos Y Fúlvicos En La Zona De Quevedo". Quevedo – Los Ríos – Ecuador: Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Recuperado De <https://Repositorio.Uteq.Edu.Ec/Bitstream/43000/1915/1/T-UTEQ-0034.Pdf>
- Ventura, F., Salgado, S., Castelán, M., Palma, D., Rivera, M. Y Sánchez, P. 2012. Métodos De Interpretación Del Análisis Nutricional En Naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Terra Latinoamericana. 30(2), 139- 145.
- Werner AK, Witte C.-P. (2011). La Bioquímica De La Movilización De Nitrógeno: Catabolismo Del Anillo De Purina. *Tendencias De Ciencia Vegetal*. 16 381–387. 10.1016/J.Tplants.2011.03.012
- White PJ, Broadley MR (2009) Biofortification Of Crops With Seven Mineral Elements Often Lacking In Human Diets – Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium And Iodine. *New Phytol* 182:49–84
- Winkler, R.G., Polacco, J.C., Eskew, D.L., Welch, R.M., 1983. Nickel Is Not Required For Apo-Urease Synthesis In Soybean Seeds. *Plant Physiol*. 72,
- Wood, B., Reilly, C., Nyczepir, A., 2004. Mouse-Ear Of Pecan: A Nickel Deficiency. *Hortscience* 39, 12381242.

- Zhu C, Naqvi S, Gomez-Galera S, Pelacho AM, Capell T, Christou P (2007) Transgenic Strategies For The Nutritional Enhancement Of Plants. Trends Plant Sci 12(12):548–555.