



UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

Determinación preliminar de normas nutrimentales y
correlaciones nutrimentales en chile ancho (*Capsicum annuum*)

Por:

Rosa Isela Ramírez Chávez

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

Opción terminal: Agricultura sustentable.

Director de tesis: Dr. José Luis García Hernández

Durango, Dgo., México.

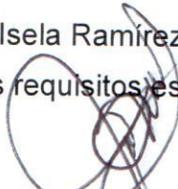
2018

Universidad Juárez del Estado de Durango

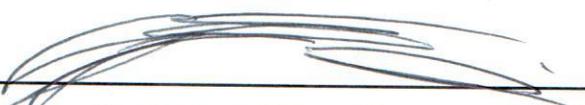
**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO
EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

Los abajo firmantes, certifican que la tesis de doctorado que se presenta como requisito parcial para la obtención del Grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Forestales por parte de

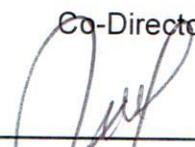
Rosa Isela Ramírez Chávez
ha cumplido con los requisitos estipulados por la UJED



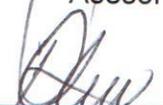
Dr. José Luis García Hernández
Director de tesis



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Director



Dr. José Dimas López Martínez
Asesor



Dr. Miguel Ángel Gallegos Robles
Asesor



Dr. Cirilo Vázquez Vázquez
Asesor

AGRADECIMIENTOS

A Jesucristo, Dios Todo poderoso, por cada muestra de su gran amor hacia mi persona y mi familia, por guiar cada paso que he dado en mi vida, ya que ha sido con la certeza de que él está a mi lado llenando mi corazón con la luz de su espíritu y es por ello que he alcanzado cada meta propuesta.

A mi pequeño hijo Iker Emilio Quiroz Ramírez y a mi bebe que viene en camino por ser mi mayor inspiración para ser un mejor ser humano.

A mi esposo Luis Enrique, por su apoyo y comprensión.

A mis padres y mejores amigos, Rosario y Julián por cada palabra y consejo que me han dado, por demostrarme su amor y su apoyo incondicional, por motivarme, por celebrar mis victorias y levantarme en mis tropiezos.

A mi hermano Iván, por estar conmigo siempre y contagiarme con su alegría y entusiasmo, por formar parte de lo más valioso que tengo mi familia.

A mi director de tesis el Dr. José Luis García Hernández, por su paciencia, comprensión, tiempo y la confianza que depositó en mí, por guiarme de manera correcta en esta etapa profesional que hoy culmina y sobre todo por permitirme conocer a una persona con una excelente calidad humana y profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme la beca que permitió la realización de mis estudios de Doctorado.

A mi comité de tesis, integrado por Dr. José Dimas López Martínez, Dr. Enrique Troyo Diéguez, Dr. Miguel Ángel Gallegos Robles y Dr. Cirilo Vázquez Vázquez por su apoyo y orientación. Ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda.

A mi compañero Polo, por brindarme su apoyo incondicional en esta etapa que he concluido.

DEDICATORIA

A DIOS, por haberme puesto en el camino correcto, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio y por permitirme llegar hasta este momento tan importante y lograr una meta más en mi vida.

*Al amor de mi vida, mi hijo **Iker Emilio Quiroz Ramírez** por ser mi mayor motivación, por permitirme descubrir el amor incondicional, ya que a pesar de la ausencia que este proyecto implicó siempre me esperaba con una sonrisa, un beso y un abrazo.*

*A mi madre **María del Rosario** y a mi padre **Julián**, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor y comprensión; por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida.*

*A mi hermano **Iván**, por su apoyo y compañía en tantos desvelos en esta meta profesional.*

*A mi esposo **Luis Enrique**, por ser el padre de mi mayor bendición y fortuna en la vida MIS HIJOS.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Importancia económica del chile	5
2.2. Importancia del chile en el mundo y en México	5
2.3. Condiciones ambientales del cultivo de chile (<i>Capsicum</i> spp).....	5
2.4 Necesidades nutrimentales del cultivo de chile.....	6
2.5 Importancia de la nutrición vegetal.....	6
2.6 Importancia de algunos nutrientes en la expresión de genes.	7
2.7 Absorción de nutrientes en la raíz.....	9
2.8 Transporte de nutrientes tomando en cuenta el gasto de energía	9
2.10 ¿Qué son las normas nutrimentales?	11
2.11 Métodos de diagnóstico nutrimental.....	12

2.12 Técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto	15
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Establecimiento del cultivo	17
3.2 Preparación del terreno	17
3.3 Siembra y cuidado de la plántula	17
3.4 Trasplante en campo	19
3.5 Labores culturales.....	19
3.6 Obtención de las muestras foliares.....	19
3.7 Evaluación del rendimiento	20
3.8 Análisis foliar.....	20
3.9 Identificación de normas nutrimentales.....	21
3.10 Selección de la subpoblación con alto rendimiento.....	22
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Resultados	26
4.1.1 Normas de diagnóstico de nutrimento compuesto	26
4.1.2 Interacciones nutrimentales	30
4.2. Discusión	32
4.2.1 Normas de diagnóstico de nutrimento compuesto.....	32
4.2.2 Interacciones nutrimentales	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	35
CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA.....	36

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Comparación de métodos de análisis foliar.....	16
Cuadro 2. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión para cada función asociada a proporción de logaritmos centrados <i>versus</i> rendimiento en chile ancho (<i>Capsicum annuum</i>) San Martín en la Comarca Lagunera en la población estudiada (n= 80).....	28
Cuadro 3. Normas preliminares (Media V_x y DE de las V_x de DNC para $d = 5$ nutrimentos y rangos de concentración óptimos (Media y desviación estándar, DE) en chile ancho (<i>C. annuum</i> cv.San Martín) en Florencia, Coah. Con un rendimiento de referencia de $52.98 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	29
Cuadro 4. Análisis de componentes principales tomando en cuenta los índices de DNC para la población completa (80 observaciones), y las sub-poblaciones de alto (16 observaciones) y bajo rendimiento (64 observaciones) en chile ancho (<i>C. annuum</i> cv. San Martín) en Florencia, Coah	31

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Siembra en charolas.....	18
Figura 2. Plántulas de chile ancho variedad San Martín.....	18
Figura 3. Muestreo de planta.....	20
Figura 4. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento en chile ancho (<i>Capsicum annum L.</i>) y las funciones de proporción de varianza acumulativa en el arreglo S5 para estimar el punto de inflexión que separa a las sub-poblaciones de alto y bajo rendimiento.....	27
Figura 5. Función de distribución acumulativa de X^2 con seis grados de libertad para obtener el valor crítico teórico (3.1) de DNC r^2 en el arreglo S5 asociado al 80 % de la población (sub-población de bajo rendimiento).....	30

RESUMEN

Debido a su gran popularidad y aceptación entre la población, el chile (*Capsicum spp.*) es uno de los principales cultivos hortícolas establecidos en México. Dentro de este género, uno de los cultivares que más usos tiene es el chile ancho. Debido al escenario actual de la globalización, los productores de este cultivo se han visto en la necesidad de administrar una nutrición balanceada a cada planta. El origen y la cantidad de fertilizantes pueden afectar drásticamente el patrón de crecimiento, su anatomía y morfología, así como su composición química y por ende su productividad en cuanto a cantidad y calidad del producto. La optimización en el uso de fertilizantes puede lograrse por medio del establecimiento de normas nutrimentales con métodos multivariados como el Diagnóstico de Nutrimento Compuesto (DNC), esta técnica se apoya en bases matemáticas robustas para un cultivo y región determinado. El objetivo del presente estudio fue estimar las normas nutrimentales preliminares e identificar las interacciones nutrimentales significativas mediante la técnica DNC para chile tipo ancho "San Martín" en la Comarca Lagunera durante el ciclo primavera-verano de 2013. Las normas preliminares de DNC fueron desarrolladas de una pequeña base de datos como medias y desviación estándar de la relación centrada de logaritmos (V_x) de cinco nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y un valor desconocido R, el cual comprende todos los nutrientes no analizados químicamente y cuantificados en chile ancho. Las normas preliminares de DNC son: $V^*N = 0.42 \pm 0.06$, $V^*P = -3.24 \pm 0.13$, $V^*K = 0.48 \pm 0.08$, $V^*Ca = -0.21 \pm 0.06$, $V^*Mg = -0.82 \pm 0.05$, y $R = 3.38 \pm 0.05$. Como resultado de este trabajo se presentaron dos interacciones negativas significativas a través de análisis de componentes principales: P y K para la subpoblación de alto rendimiento, mientras que en la población completa y la subpoblación de bajos rendimientos se encontró la interacción negativa P y Ca, lo cual sugiere estos casos de antagonismos P-K y P-Ca para este estudio.

Palabras clave: chile ancho, nutrimento, interacciones, altos rendimientos.

SUMMARY

One of the major vegetable crops established in Mexico is pepper, *Capsicum spp.* due to its great popularity and acceptance among the population. Within this gender, one of the cultivars that have more uses is the ancho pepper. Given the current stage of globalization, the producers of this crop have had to manage a balanced nutrition to each plant as the source and amount of fertilizer can drastically affect their growth pattern, anatomy and morphology, as well as its chemical composition and therefore their productivity in terms of quantity and quality. This can be achieved through the nutritional norms with multivariate methods such as Compositional Nutrient Diagnosis (CND), which are supported by robust mathematical basis for a crop and a specific region. The aim of this study was to estimate the preliminary nutritional norms and identify significant nutritional interactions through CND for chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv. San Martin) in Laguna region during the spring- summer 2013. Preliminary norms CND were developed from a small database as mean and standard deviation of the row-centered log ratios (V_x) of five nutrients (N, P, K, Ca, and Mg) and an un-known value R, which comprises all the nutrients not analyzed and quantified chemically in ancho pepper. CND preliminary norms are: $V^*N = 0.42 \pm 0.06$, $V^*P = -3.24 \pm 0.13$, $V^*K = 0.48 \pm 0.08$, $V^*Ca = -0.21 \pm 0.06$, $V^*Mg = -0.82 \pm 0.05$, and $R = 3.38 \pm 0.05$. As a result of this work two significant negative interactions through principal component analysis were shown: P and K for the subpopulation of high performance, while in the entire population and the subpopulation of low yields, negative interaction of P and Ca was found, which suggests these cases of P-K antagonisms and P-Ca for this study.

Key Words: ancho pepper, nutrient, interaction, high yields.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de tres décadas el género *Capsicum* ha sido considerado un cultivo de alta prioridad para los estudios de conservación (Albrecht *et al.*, 2012). Esto, por su importancia económica y por la pérdida en alto grado de la variabilidad genética (Olivera y García 2013). El género *Capsicum* es nativo de Mesoamérica y su importancia destaca debido a la gran cantidad de especies silvestres que todavía se descubren (Rigon *et al.*, 2012). De las más de 30 especies de *Capsicum* que han sido reportadas (González *et al.*, 2013), la de mayor importancia económica es *C. annuum* (Alonso *et al.*, 2008). Esta especie es la más significativa para los mercados nacionales e internacionales de condimentos y conservas, y se cultiva en escalas que van desde la producción familiar hasta los sistemas industriales (Fonseca *et al.*, 2008). *C. annuum* es la especie más utilizada en los programas de mejoramiento de cultivares comerciales (Wing *et al.*, 2013).

México es centro de origen y también el país del mundo con la mayor diversidad genética de *Capsicum* (García *et al.*, 2004). Su riqueza genética se debe en gran parte a la gran variedad de climas y suelos que se tienen, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores, utilizando las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002).

El chile es el octavo cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 722 millones de dólares. El volumen de producción promedio es de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900,000 toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones. Actualmente se cultivan alrededor de 138,000 hectáreas en México (FAOSTAT, 2012) debido a que la demanda del chile mexicano en el mercado internacional se ha incrementado (Caro *et al.*, 2014).

En México se conocen cerca de 90 variedades o tipos de *C. annuum* (Schweiggert y Schieber, 2006). Aunque sólo cerca de 30 dominan el mercado. El

jalapeño participa con el 22.8% del valor de producción, bell pepper con 15.4%, serrano aporta el 8.4%, seco mirasol el 7.8% y ancho el 14.1% (SIAP-SAGARPA 2014).

Para la producción comercial de chile se requiere que el productor administre y optimice sus recursos disponibles. Entre ellos, la mano de obra, el uso de fertilizantes y de insecticidas para el control de plagas del cultivo (Macías *et al.*, 2012). Durante las últimas décadas se ha impulsado el enfoque de la fertilización balanceada (Ryan, 2008), ya que el origen y la cantidad de fertilizantes pueden influir drásticamente en el patrón de crecimiento, su anatomía y morfología, así como su composición química.

El análisis de tejido vegetal es más efectivo y confiable que el análisis de suelo, con el fin de conocer la nutrición en plantas en términos de composición mineral (Ríos *et al.*, 2015). Se pueden usar varios métodos para diagnosticar el estado nutricional foliar; por ejemplo, valor crítico (CVA) (Bates, 1971), sistema de diagnóstico y recomendación integrado (DRIS) (Walworth y Sumner, 1987) y diagnóstico del nutriente compuesto (CND) (Parent y Dafir, 1992; Parent *et al.*, 1994).

Los métodos de DNC y análisis de componentes principales han sido considerados como técnicas apropiadas para diagnosticar el estado nutrimental e identificar interacciones nutrimentales en papa (*Solanum tuberosum*) (Khiari *et al.*, 2001), chile (*Capsicum annum*) (García *et al.*, 2004, Valdez *et al.*, 2005), sábila (*Aloe vera*) (García *et al.*, 2006) y maíz (*Zea maiz*) (Magallanes *et al.*, 2006), entre otros cultivos.

El método de diagnóstico del nutrimento compuesto tiene una base matemática sólida para definir un valor mínimo de rendimiento útil para discriminar entre las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento (Parent y Dafir, 1992)

La técnica del método de diagnóstico nutrimental compuesto (DNC) fue desarrollada en Canadá (Parent y Dafir, 1992; Parent *et al.*, 1994; Parent *et al.*, 1995 y Tremblay *et al.*, 1993). Involucra el cálculo de índices individuales para cada elemento, pero considera su proporción respecto a la media geométrica (g) de todos los nutrimentos. También, considera a R que representa el resto de los nutrimentos no considerados en el análisis químico: R corresponde por ejemplo, a C, H y O, y es un parámetro más trascendente que el componente materia seca usado en el método DRIS.

En la metodología del valor crítico se divide de manera arbitraria a las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, por lo general es el 95%, mientras que en el caso de DRIS y CND, la población de altos rendimientos se selecciona de una base de datos. Con respecto al sistema DRIS no se ha establecido un procedimiento formal para dividir las observaciones en dos grupos: uno de altos rendimientos y otro de bajos rendimientos. En cambio, esa partición se sustenta en la función de distribución de chi-cuadrada (χ^2) de los índices de nutrición global y a la relación cubica entre los rendimientos y las funciones de proporción de varianza acumulada en el caso de la técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto (Parent y Dafir, 1992).

1.1. Objetivo general

Determinar las normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) e identificar correlaciones importantes entre nutrimentos y rendimiento en chile ancho, en la variedad San Martín.

1.2. Objetivos específicos

Determinar las normas nutrimentales utilizando la norma DNC en una variedad de chile ancho "San Martín"

Determinar las interacciones nutrimentales de los macroelementos N, P, K, Ca, y Mg en una variedad de chile ancho "San Martín".

1.3. Hipótesis

Las normas generadas con la técnica de diagnóstico de nutriente compuesto sirven como base para el diagnóstico nutrimental y permiten desarrollar conocimientos sobre interacciones entre los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg en el cultivo de chile ancho.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia económica del chile

Desde 1993, la producción mundial de chile ha tenido un crecimiento del 48% de la superficie y duplicado los volúmenes de producción. Este aumento en la producción de chile se debe a la creciente demanda de este producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para usos industriales.), la superficie mundial sembrada de chiles, asciende a 1.7 millones de hectáreas, con una producción de 25.1 millones de toneladas. El chile es el octavo cultivo con mayor valor generado en la agricultura de México, alcanzando alrededor de 722 millones de dólares. El volumen de producción promedio es de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900,000 toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones. Actualmente están en producción alrededor de 138,000 hectáreas en México (FAOSTAT, 2012) debido a que se ha incrementado la demanda del chile mexicano en el mercado internacional (Caro *et al.*, 2014).

Cabe mencionar que cada mexicano consume en promedio 15 kilogramos de chile al año (SIAP, 2009).

2.2. Importancia del chile en el mundo y en México

Los taxónomos modernos reconocen cinco especies cultivadas de *Capsicum*: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jackuin, *C. pendulum* Willdenow y *C. pubescens*, mismas que se encuentran distribuidas en tres centros de origen, siendo México el principal centro de diversidad genética de dicha especie (Greenleaf, 1986).

2.3. Condiciones ambientales del cultivo de chile (*Capsicum* spp)

2.3.1 Factores climáticos

El ciclo vegetativo de esta planta depende de las variedades, de la temperatura en las diferentes etapas fenológicas (germinación, floración, maduración), de la duración del día y de la intensidad luminosa. El chile necesita una temperatura media diaria de 24°C, menor a los 15°C provoca que el crecimiento sea lento y cuando es

inferior a 10°C el crecimiento de las plantas se detiene. Con temperaturas superiores a los 35°C la fructificación es débil o nula, sobre todo si la humedad en el ambiente es baja (FAOSTAT, 2009).

2.3.2 Suelos

El chile se adapta y desarrolla en suelos con pH desde 6.5 a 7.0, aunque debe considerarse que en suelos con pH de 5.5 existe necesidad de hacer enmiendas. Por abajo o arriba de los valores indicados no es recomendable su siembra, porque afecta la disponibilidad de los nutrientes. Es importante conocer y considerar el pH del suelo, porque indica los rangos para el buen uso y asimilación de los fertilizantes, especialmente cuando sean de origen nitrogenado (FAOSTAT, 2009).

2.4 Necesidades nutrimentales del cultivo de chile

La cantidad de nutrimentos que el cultivo asimila depende del rendimiento del fruto. Para que el chile produzca una tonelada de fruto fresco las plantas necesitan absorber un promedio de 3 a 4 kg de N, de 0.7 a 1 kg de P, y de 4 a 6 kg de K (Catalán, 2006).

Las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo 16 elementos, que son conocidos como esenciales, de los cuales se dividen en dos grupos, macronutrientes que son requeridos por la planta en grandes cantidades, y micronutrientes que son requeridos en cantidades más pequeñas (Salazar *et al.*, 2007).

2.5 Importancia de la nutrición vegetal

La nutrición vegetal es el proceso que le permite a las plantas interceptar y absorber los minerales que requiere para su crecimiento y desarrollo. El manejo de la nutrición, tiene por objetivo de potenciar las actividades metabólicas de planta para convertirla en una máquina productiva natural, y optimizar el uso de los nutrientes para alcanzar la máxima productividad posible bajo las condiciones dadas, se requiere conocer los requerimientos y el comportamiento de las plantas al incrementar la disponibilidad de nutrientes, determinar las necesidades para cada

etapa y los otros aspectos que pueden afectar la nutrición, como el nivel hídrico. En el sistema productivo el manejo nutricional se realiza adicionando al suelo fuentes de minerales, en las dosis determinadas y en las épocas apropiadas para su aprovechamiento. Para que sea efectivo en términos agronómicos, se debe incluir el aspecto hídrico, de tal manera que manejar la nutrición incluye la gestión integral de todos los factores de producción (Epstein y Bloom, 2005).

La fertilización puede permitir una sincronización de la disponibilidad de nutrientes del suelo con los que la planta demanda, evitando así la deficiencia de nutrientes, incluso en períodos de alta absorción (Malaguti *et al.*, 2006). Optimizar la nutrición mineral para conseguir un alto rendimiento y de buena calidad no requiere a menudo de una aplicación abundante de fertilizantes (Dris, 2002), ya que no hay una correlación lineal entre un aumento en la fertilización y el incremento de la cosecha; la producción y calidad, pueden ser económicas, convenientes y sustentables con el medio ambiente (Fallahi *et al.*, 2001).

Hoy en día es conocido que las plantas superiores requieren elementos químicos: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), Manganeseo (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). A estos elementos se les llama nutrimentos esenciales por que la falta de cualquiera de ellos impide que las plantas completen su ciclo vegetativo. En ecosistemas naturales estos nutrimentos son aportados por el aire y el agua, en el caso de C, H, y O, y por el suelo en el caso del resto de los nutrimentos. En estos sistemas se tiende al equilibrio mediante el reciclaje natural de los nutrimentos. Sin embargo, en los sistemas de producción agrícola se remueven grandes cantidades de nutrimentos del suelo junto con la cosecha (Fallahi *et al.*, 2001).

2.6 Importancia de algunos nutrientes en la expresión de genes.

El fósforo es un componente vital del ácido desoxirribonucleico (ADN) y del ácido ribonucleico (ARN), que son las sustancias que forman los genes, cromosomas y

ribosomas, la información de este elemento es parte esencial de los procesos que transfieren el código genético de una generación a la siguiente, proveyendo el mapa genético para todos los aspectos de crecimiento y reproducción de la planta. Es importante la suficiente acumulación de fósforo en frutos y semillas, donde es esencial para su formación y desarrollo (Mite, 1999).

Los síntomas de toxicidad por aluminio incluyen la inhibición de la captación de calcio. La división celular también se inhibe; la mitosis parece detenerse en la fase S de la replicación del DNA. La inhibición de la elongación radicular en la punta de la raíz se debe a interferencias con la formación de las paredes celulares, disminuyendo la elasticidad de la pared celular a través de cruzamientos con pectina (Mettu, 2015).

El calcio actúa como mensajero secundario en la transducción de diferentes señales desde el medio exterior que rodea la célula a elementos del metabolismo de la misma, siendo estas señales iniciadas por el inositol trifosfato (Mettu, 2015).

También, el calcio se relaciona con procesos mitóticos, citocinesis y crecimiento polar. Uno de los efectos más estudiados del aluminio es que el cese del crecimiento radicular coincide con la desaparición de figuras mitóticas. La replicación de DNA ocurre durante la fase S del ciclo celular y va seguida de la mitosis. Si bloqueamos esta primera fase no se da la segunda (Mettu, 2015).

A pesar del hecho de que la acumulación del aluminio en vacuolas o la quelación puedan ser factores que determinen cierta tolerancia al aluminio, no todo el aluminio es eficientemente detoxificado, por tanto, puede interferir con elementos celulares como el ADN. Se ha demostrado que el aluminio inhibe la división celular y se asocia al ADN en diferentes plantas. Una de las razones más plausibles por las que el aluminio se uniría al núcleo celular sería que éste es uno de los órganos celulares con mayor carga negativa debido a los grupos fosfatos que contiene, por lo que el aluminio podría ser transportado al núcleo celular a través de sus poros (Mettu, 2015).

2.7 Absorción de nutrientes en la raíz.

Los nutrientes deben estar disueltos en el agua del suelo, y desde allí pueden ser absorbidos directamente por la planta, pero ésta es una fracción mínima del total. Una fracción algo mayor está absorbida en los coloides (arcillas y sustancias húmicas) y para extraerla la planta debe intercambiar iones (liberando H^+ y HCO_3^-) con la superficie de los coloides del suelo. Pero la mayor parte de los nutrientes se halla formando parte de las sustancias orgánicas o de minerales no solubles. Las raíces excretan hidrogeniones, aumentando su capacidad reductora, y compuestos orgánicos ligeros que forman quelatos solubles con los nutrientes que pueden ser absorbidos por las raíces. Estos iones, hasta cierto punto, pueden ser tomados selectivamente (se toman más cationes que aniones) y, en algunos casos, pueden ser acumulados en reservas. Tras atravesar las células de la raíz, los iones llegan al xilema y entran en el flujo transpiratorio, que los llevará hacia el resto de la planta (Marschner *et al.*, 2012).

La capacidad de las plantas para responder adecuadamente a la disponibilidad de nutrientes es de suma importancia para su adaptación al medio ambiente. Nutrientes, tales como nitrato, fosfato, sulfato y hierro actúan como señales que pueden ser percibidas (Marschner *et al.*, 2012).

2.8 Transporte de nutrientes tomando en cuenta el gasto de energía

En general, la difusión (o transporte pasivo) mueve siempre moléculas a partir de las áreas de mayor potencial químico cuesta abajo a las áreas de potencial químico más bajo (Mengel, 1995).

Este tipo de movimiento es espontáneo, no requiere gasto de energía por parte de la célula. En cambio, el movimiento de sustancias contra un gradiente de potencial químico (por ejemplo, a una concentración superior) se denomina transporte activo y este tipo de transporte implica gasto de energía por parte de la célula (Mengel, 1995).

Los canales, soportes y bombas son transportadores que hay en la membrana celular para la absorción de nutrientes a través de la membrana celular. Los dos primeros participan en el transporte pasivo y las bombas en el activo (Mengel, 1995).

2.9 Análisis nutrimental

El análisis de planta es una herramienta de diagnóstico para indicar la disponibilidad de elementos naturales. Originalmente tuvo mayor aplicación en cultivos considerados hortícolas, que en los de cosecha como maíz, soja o trigo (Landriscini, 1992).

Se sabe que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo e indica lo que absorbió de toda la oferta nutricional. A partir del análisis vegetal se determina si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo y cuánto requiere, si fuese necesaria la fertilización (Krantz *et al.*, 1948; Alva & Bille, 1981). Si el nivel de nutrientes de una hoja está en el rango de deficiencia, no necesariamente se observará respuesta a la aplicación de ese nutriente, si los niveles de otros elementos (o factores de producción) y su balance no son óptimos (Melsted *et al.*, 1969; Malavolta *et al.*, 1997).

Según la FAO, para desarrollar un sistema de manejo de la nutrición vegetal como parte de un sistema de cultivo, es necesario considerar los siguientes factores:

- La asimilación de los nutrientes por parte del cultivo para obtener un rendimiento razonable.
- La cantidad que potencialmente puede ser suministrada por el suelo sin degradarse.
- La eficacia de utilización del nutriente desde su fuente

Para satisfacer las necesidades nutrimentales de un cultivo, un suelo puede requerir, además de los tres elementos principales, N, P, K, cualquiera o una combinación de los demás necesarios para garantizar el mejor nivel de nutrición del

cultivo. La aplicación real de estos nutrientes también depende del entendimiento de su comportamiento en el suelo. Los elementos de aplicación incluyen: la fuente o portador del nutriente, la oportunidad y el método de aplicación y el tipo de fuente mineral (FAO, 2001).

2.10 ¿Qué son las normas nutrimentales?

Las normas nutrimentales representan las calibraciones de la composición del tejido de la planta, la composición del suelo, los parámetros del medio ambiente y las prácticas culturales, como funciones de la producción obtenida por un cultivo en particular. En México se carece de normas nutrimentales validadas para los cultivos de mayor importancia económica y social, lo que no permite generar recomendaciones confiables para los cultivos de interés. El contar con dichas normas ayuda a definir las cantidades adecuadas de fertilización en tiempo y suficiencia, en función del propósito de producción de los cultivos. En la nutrición vegetal, las técnicas más recientes para la determinación de las relaciones entre nutrientes y entre nutrientes y biomasa han sido entre otras (Magallanes *et al.*, 2006).

- El método del valor crítico (VC).
- El sistema integrado de diagnóstico y recomendación (SIDR).
- La técnica de diagnóstico de nutriente compuesto (DNC) (Magallanes *et al.*, 2006).

Las normas pueden obtenerse de varias fuentes (Magallanes *et al.*, 2005).

- Análisis estadístico de grandes cantidades de datos, utilizando poblaciones de plantas de alto rendimiento. Las concentraciones o proporciones de nutrientes pueden utilizarse como normas. El uso de poblaciones de alto rendimiento se basa en que el rendimiento del cultivo no fue afectado por factores limitantes aparte de los genéticos.

- Las normas también se pueden obtener a partir de plantas cultivadas hidropónicamente en condiciones controladas de clima y nutrición. Si la solución de nutrientes está diseñada correctamente, a través de experimentos biológicos y es adecuadamente remplazada, se pueden obtener altos rendimientos sin más límite que el material genético; la composición mineral de estas plantas puede utilizarse como normas, iguales o mejores que las normas (Magallanes *et al.*, 2005).

2.11 Métodos de diagnóstico nutrimental

Las técnicas cualitativas de diagnóstico nutrimental, tales como el Diagnóstico Visual, se pueden utilizar sin la necesidad de muestrear. El instrumento de análisis es la vista, lo cual hace de esto un método no cuantitativo. Sin embargo, este método se puede apoyar con la ayuda de escalas, cuadros de color y medidores de clorofila. Existen varios conjuntos de imágenes considerados como normas cualitativas pero no hay alguna que incluya todos los cultivos y todas las deficiencias. Además, a menudo es difícil diferenciar las deficiencias de los síntomas de toxicidad y el efecto de las plagas (Magallanes *et al.*, 2005).

Entre las técnicas cuantitativas está el análisis foliar total, basado en el hecho de que la hoja es el sitio metabólicamente más activo de la planta, y por tanto es donde las variaciones nutricionales afectan más que a otros órganos. El muestreo y el manejo de las muestras tienen que estandarizarse cuidadosamente, y los métodos de análisis tienen que llevarse a cabo de la misma forma en cada laboratorio para que los resultados sean iguales.

Para comparar datos obtenidos con los de las normas, se han considerado diferentes enfoques; algunos hacen simples comparaciones entre un dato obtenido y su norma; otros utilizan proporciones duales o estudios multicomponentes. En el primer caso se incluyen los métodos tradicionales como es el enfoque de valor crítico (VC), o el método de rango de nutriente crítico (RNC). Con estos métodos solo se puede concluir si la concentración de nutriente está o no dentro de un rango

suficiente (o sobre el valor crítico) para que la planta muestre su productividad, o si es limitante (Magallanes *et al.*, 2005).

Magallanes y colaboradores (2005) reportan que los métodos tradicionales como el de valor crítico y el de nutriente crítico tienen limitaciones, dado que el contenido total de nutrientes depende de:

- a) La edad y desarrollo de la hoja,
- b) La posición relativa de la hoja en la planta,
- c) Las condiciones climáticas previas al muestreo,
- d) El balance de nutrientes y
- e) La presencia de elementos tóxicos

Además, la magnitud de la variación difiere con la variedad, por lo que no se puede utilizar un valor único de referencia para variedades diferentes. Ramos (1994) encontró que la concentración de Magnesio en el cultivo de lechuga estuvo afectada por la contaminación de cadmio. Los valores normales de Magnesio cambiaron más de 50% por una contaminación moderada. La cantidad requerida de un nutriente puede estar afectada por el contenido de otros nutrientes en la planta (Magallanes, 2005).

En el diagnóstico del estado nutricional, el análisis de tejidos de la planta se ha utilizado porque la composición de las plantas es un indicador de la respuesta de la planta más sensible que el rendimiento, pero al mismo tiempo, es mucho más difícil de interpretar. La técnica de Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto (DNC), asegura que la variación de un elemento en el tejido vegetal, inevitablemente, cambia la proporción de los demás elementos (Blanco *et al.*, 2009).

La técnica de desviación del porcentaje óptimo (DPO) utiliza una comparación porcentual de nutrientes con respecto a las normas (Montañés *et al.*, 1993; Monge *et al.*, 1995). La técnica permite determinar si la cantidad de un nutriente es diferente de la norma, por lo que clasifica a los nutrientes en función de su efecto limitante. Este método es de fácil aplicación y sus resultados son similares a los obtenidos por el SIDR, por lo que en la actualidad se utiliza como un método rutinario de interpretación (Magallanes, 2005).

Otros métodos utilizan la información que se puede obtener a partir de las proporciones entre nutrientes, tal como el balance evolutivo de nutrientes (BEN), el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (SIDR) desarrollado recientemente el diagnóstico de nutriente compuesto desarrollado por Parent *et al.* (1992). Todos ellos tratan de mejorar el diagnóstico con respecto a la edad de la planta, los efectos de la dilución, la concentración de los nutrientes y sus interacciones. En el caso del balance evolutivo de nutrientes no se especifican normas, sino rangos de normalidad y deficiencia a través del año. También, muestra como cada nutriente o proporción de nutrientes se ven afectados por la alteración de uno solo de ellos. Esta metodología ha sido aplicada en forma exitosa en cítricos, pero implica una gran cantidad de trabajo porque requiere de cultivos hidropónicos para determinar el balance de nutrientes en diferentes condiciones para diferentes variedades (Magallanes, 2005).

El sistema integrado de diagnóstico y recomendación utiliza índices para cada nutriente, calculados a partir de la media aritmética de las funciones, en las que se consideran las proporciones entre todos los pares de elementos (Walworth y Sumner, 1987). Existe correlación inversa entre el rendimiento y la sumatoria de todos los índices en valor absoluto. Esto implica que un buen balance nutricional es más importante para un alto rendimiento que el efecto de un solo nutriente. Se han propuesto varias modificaciones a este sistema, tales como el M-SIDR, el cual considera la materia seca (M) como otro componente en las proporciones de nutrientes. Otro método modificado es el Log-SIDR, que utiliza una expresión

diferente para eliminar el efecto de curtosis que se presenta con las normas tradicionales del SIDR en el coeficiente de variación (Magallanes *et al.*, 2005).

2.12 Técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto

Se han desarrollado muchas técnicas de diagnóstico nutrimental de las plantas cultivadas. Entre ellas se encuentran las siguientes: valor crítico (VC), sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) y diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC). En el caso de la técnica VC, una concentración se define arbitrariamente, por lo general se considera el 90 o 95 % del rendimiento máximo y se supone que, excepto el nutrimento del caso, los demás están en cantidades suficientes y no excesivas; en los caso de DRIS y DNC la población de altos rendimientos se selecciona de manera diferente, con respecto al DRIS, no se han establecido un procedimiento formal para dividir el total de observaciones en dos grupos: uno de alto rendimiento y otro de bajo rendimiento, esta partición se logra con la técnica DNC al considerar la relación cubica entre el rendimiento y cada una de las funciones de proporción de varianza acumulada; en otras palabras la técnica de DNC se sustenta en procedimientos estadísticos robustos (Blanco *et al.*, 2006).

La técnica de DNC conlleva un análisis multivariado a partir de una base de datos de la composición nutrimental del tejido vegetal y datos de rendimiento con los que se hace una discriminación entre subpoblaciones de alto y bajo rendimiento para definir las normas nutrimentales del cultivo (Magallanes, 2005). A través de la metodología de DNC se ha determinado el valor mínimo de alto rendimiento de fruto maduro, así como los rangos de macro nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) óptimos correspondientes en el tejido foliar, los cuales son llamados normas nutrimentales. En este contexto, se han publicado las normas de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) para diversos cultivos como nopal y otros más. Los métodos de DNC y análisis de componentes principales son considerados técnicas apropiadas para diagnosticar el estado nutrimental, identificar relaciones nutrimentales en papa (*Solanum tuberosum*), chile (*Capsicum annuum*), sábila (*Aloe vera*) y maíz (*Zea mays*), entre otros cultivos (García *et al.*, 2009).

Esta técnica calcula los índices individuales para cada elemento, pero considera cada proporción con respecto a la media geométrica G de todos los nutrientes involucrados en el cálculo, más un valor de relleno (R) que considera a los elementos no involucrados en el cálculo, en particular C, O y H porque se considera un parámetro con más significado que el valor de materia seca usado en el análisis M-SIDR. La ventaja con respecto al SIDR es que utiliza proporciones de nutrientes de una composición total, y no solo pares de proporciones, en el cuadro 1 se muestra un comparativo de los diferentes métodos de análisis foliar (Magallanes, 2005).

Cuadro 1. Comparación de métodos de análisis foliar

Método	Cálculos	Normas	Correlación con rendimiento
VC RNC	Directos	Bastantes	Media
DPO	Sencillos	Unas cuantas	Pobre
DRIS	Complicados	Unas cuantas	Buena
DNC	Medios	Unas cuantas	Muy buena

Fuente: Magallanes *et al.*, (2005)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Establecimiento del cultivo

El cultivo fue establecido en campo durante el ciclo primavera-verano de 2013 en el ejido Florencia, Coahuila, México, ubicado geográficamente en las coordenadas 25°50'22.32" LN y 103°18'59.11" LO a una altitud de 1,107 m. En esta región la temperatura media anual es de 22.1 °C, la precipitación pluvial es de 258 mm y la evaporación anual media aproximadamente es 10 veces mayor. En dicha área los suelos son de aluvión, profundos y arcillosos (García *et al.*, 2009).

Antes de la siembra se tomaron 10 muestras de suelo en la capa de 0-30 cm del sitio experimental para determinar sus características físicas y químicas. El suelo es de tipo migajón arcilloso, alcalino y de baja salinidad. El contenido de MO fue de 1.1 %, pH 8.4, CE 1.46 dS m⁻¹, 17 mg kg⁻¹ de N, 14 mg kg⁻¹ de P, 1.30 meq L⁻¹ de K, 5.4 meq L⁻¹ de Ca y 6.8 meq L⁻¹ de Mg.

3.2 Preparación del terreno

Las actividades de preparación del terreno dieron inicio a mediados del mes de enero del 2013, con el barbechado, rastreo y emparejamiento del suelo, así como la formación de bordos con una separación de 1.8 m entre bordos, para el riego se utilizó cintilla y acolchado para evitar la pérdida excesiva de agua debido a las condiciones climáticas del sitio.

3.3 Siembra y cuidado de la plántula

La siembra de las semillas se realizó en el invernadero de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la-UJED el 15 de enero de 2013, para ello se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades con las siguientes características: Cónico con esquinas red y guía de raíz, cavidades de 3.1 x 3.1cm y con una capacidad de 22 mL. Como sustrato se utilizó peat moss (70%) y vermiculita (30%), posteriormente se colocó una 1 semilla por cavidad a 0.5 cm de profundidad. Las charolas se

regaron diariamente durante en la mañana a las 8:00 am y por la tarde a las 7:00 pm. Se supervisó la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas, a los 50 días después de la siembra se procedió a su trasplante.



Figura 1. Siembra en charolas



Figura 2. Plántulas de chile ancho variedad San Martin

3.4 Trasplante en campo

El cultivar que se estableció fue chile tipo ancho variedad San Martín. Se trasplantó a 10 cm de profundidad, tratando de no dañar el cepellón. Se utilizó un arreglo espacial en bordos de doble hilera, acolchado plástico negro y riego por goteo. La distancia entre bordos fue de 1.80 m, mientras que entre planta y planta fue de 30 cm, esto permitió obtener una densidad de 37,000 plantas ha⁻¹. La nutrición se realizó con fertirriego, aplicando 120 y 60 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente.

3.5 Labores culturales

Las plagas y enfermedades que se presentaron fueron el picudo del chile (*Anthonomus eugenii*) y cenicilla polvorienta (*Oidiopsis* sp.) y fueron controladas con los productos orgánicos Insecta Plus (extracto de piretrinas naturales 40%) de la casa comercial azul natural, s.a. de c.v. y PHC - Mil stop plus (bicarbonato de potasio 85%) de la casa comercial Bio Works, Inc. Ambos son productos con certificado por OMRI (*Organic Materials Review Institute*).

3.6 Obtención de las muestras foliares.

Del total de la población, la muestra para el cálculo de las normas fue de 80 unidades de muestreo, correspondientes a dos plantas por unidad. Se tomaron siete hojas de cada planta muestreada más otras siete de la planta contigua hacia el norte, teniendo un total de 14 hojas por unidad de muestreo. Las hojas obtenidas se eligieron del tercio medio de la planta y se cortaron con tijeras de podar incluyendo el peciolo. Cada muestra foliar compuesta (mezcla de las 14 hojas en cada caso) fue limpiada con agua destilada, secada a peso constante y analizada para el total (en porcentaje) de N, P, K, Ca y Mg, como se describe posteriormente.



Figura 3. Muestreo de planta

3.7 Evaluación del rendimiento

Los frutos fueron cosechados de la planta cuando cumplieron con los requerimientos de calidad establecidos (color, largo, ancho, grosor de pulpa, entre otros). El 24 de julio del 2013 se llevó a cabo la primera cosecha, cosechándose cada doce días, el número de cortes fue de cinco. En las mismas plantas que se muestrearon se obtuvo el rendimiento de cada unidad de muestreo. El valor total de rendimiento se obtuvo sumando los rendimientos parciales de cinco cosechas o cortes.

3.8 Análisis foliar

Los análisis químicos hechos con esas muestras se llevaron a cabo en los laboratorios analíticos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en La Paz, B. C. S. El nitrógeno total fue determinado por el método de Dummas. El fósforo fue analizado por el método de colorimetría con el complejo de azul de fosfomolibdato (AOAC 1995). K, Ca y Mg fueron estimados por

espectrofotometría de absorción atómica, después de una digestión con HNO₃ (Hanton, 1992)

3.9 Identificación de normas nutrimentales

En la presente investigación se utilizó la técnica de Diagnóstico de Nutriente Compuesto para generar normas preliminares de nutrición en chile ancho (*Capsicum annuum* L.) debido a que tiene un procedimiento formal para dividir a las observaciones en dos grupos: uno de altos rendimientos y otro de bajos rendimientos. Dicha partición se sustenta en la relación cúbica entre los rendimientos y las funciones de proporción de varianza acumulada, y en la función de distribución de χ^2 de los índices de nutrición global, útiles en el proceso de diagnóstico.

Esta técnica fue descrita inicialmente por Parent y Dafir (1992) y luego retomada por (García, 2006 y García, 2009) y Magallanes Quintanar (2004) Magallanes Quintanar (2005), entre otros autores.

Entonces, se considera que la composición del tejido vegetal forma un arreglo (S^d) d dimensional de nutrientes; es decir, el tejido está compuesto de d nutrientes y un valor de relleno:

$$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, \dots, R_d > 0, N + P + K + \dots + R_d = 100] \quad (1)$$

Donde 100 es la concentración de materia seca (%); N, P, K,... son las proporciones de nutrientes y R_d es el valor de relleno entre 100 % y la suma de las d proporciones de nutrientes estimado mediante:

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots). \quad (2)$$

Esas proporciones se hacen invariantes en escala después de que se dividen por la media geométrica G:

$$G = [N \times P \times K \times \dots \times R_d]^{1/d+1} \quad (3)$$

Posteriormente se determinan los logaritmos de las proporciones centradas para cada nutriente:

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right), V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \dots, V_{R_d} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right) \quad (4)$$

De manera que

$$V_N + V_P + V_K + V_{Ca} + V_{Mg} + \dots + V_{R_d} = 0. \quad (5)$$

Donde V_X es la expresión del logaritmo de la proporción centrada para el nutriente X. Esta operación permite asegurar que las estimaciones se han hecho correctamente. Se debe tomar nota de que estas expresiones son proporciones múltiples, pues involucran a todos los nutrientes considerados y el complemento o relleno es considerado como tal. Por definición, la suma de los componentes de un tejido es 100 %, Ecuación (1) y la suma de los logaritmos de las proporciones centradas de los d nutrientes y del relleno R_d debe ser cero (Ecuación 5).

3.10 Selección de la subpoblación con alto rendimiento

En cualquier muestra o población es deseable maximizar el número de casos que inequívocamente sean de la subpoblación de bajo rendimiento (Walworth y Sumner, 1987). Se ha demostrado ampliamente que conforme el rendimiento es mayor, el rango de valores de proporciones bivariadas entre nutrientes es menor (Walworth y Summer, 1987). Entonces, teóricamente una separación entre rendimientos altos y bajos debería determinarse por funciones de proporción de varianza para índices nutricionales, siguiendo un orden decreciente de rendimiento.

De esta manera, la relación curvilínea entre el nutriente y el rendimiento deberá mostrar un valor de referencia entre las subpoblaciones de rendimientos bajos y altos, en un punto donde las dos subpoblaciones cambian su concavidad, es decir, su punto de inflexión. La primera derivada de la función de proporción de la varianza acumulada disminuye abajo del punto de inflexión y se incrementa sobre él. Es claro

pues que la discriminación entre las subpoblaciones se mejora sobre dicho punto. El valor de rendimiento de referencia en el punto de inflexión es el rendimiento mínimo para separar las dos subpoblaciones.

Para estimar el punto de inflexión se siguieron los siguientes pasos:

a) Se ordenaron las 80 observaciones considerando el rendimiento en orden decreciente. Cada observación consistió de las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg (expresadas en % con base a materia seca) y rendimiento ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

b) Se estimaron los logaritmos de las proporciones centradas de los nutrientes usando las Ecuaciones 2, 3 y 4.

c) Se usa el procedimiento iterativo de Cate-Nelson (Nelson y Anderson, 1977) para dividir la población, partiendo de que la primera subpoblación de altos rendimientos consistió de las dos primeras observaciones y las restantes conformaron la de bajo rendimiento; después las tres primeras se consideraron de rendimiento alto y el resto de rendimiento bajo. El procedimiento se repitió hasta que las dos observaciones de menor rendimiento formaron un grupo y el resto el otro.

d) Para cada subpoblación obtenida según el paso anterior se estimó la varianza de los V_x . Ello permitió estimar la proporción de varianza para el componente X, $f_i(V_x)$:

$$f_i(V_x) = \frac{\text{Varianza de } V_x \text{ } n_1 \text{ observaciones}}{\text{Varianza de } V_x \text{ } n_2 \text{ observaciones}} \quad (6)$$

Donde $f_i(V_x)$ es la función de proporción entre las dos subpoblaciones en la i ésima iteración ($i = n_1 - 1$) y V_x es la expresión del logaritmo de la proporción centrada VND para el nutriente X.

e) La función de proporción de varianza acumulada se estima considerando que es la suma de las proporciones de varianza en la i ésima iteración desde el principio.

La función de proporción de varianza acumulada para una iteración dada es estimada como la proporción de la suma total de proporciones de varianza de todas las iteraciones para comparar la fuerza discriminadora de los V_X entre bajos y altos rendimientos sobre una escala común. La función de proporción de varianza acumulada se estima con la siguiente fórmula:

$$F_i^C(V_X) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_1-1} f_i(V_X)}{\sum_{i=1}^{n_1-3} f_i(V_X)} \right] [100] \quad (7)$$

Donde n_1-1 es el número de partición y n es el número total de observaciones ($n_1 + n_2$). El denominador es la suma de proporciones de todas las iteraciones, y por lo tanto es una constante para el componente X.

f) Entonces, la función de proporción de varianza acumulada $F_i^C(V_X)$ se relaciona con el rendimiento Y, mediante un modelo cúbico:

$$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d \quad (8)$$

g) Dado que el punto de inflexión es aquel donde el modelo muestra un cambio en concavidad, se estima al obtener la segunda derivada de la Ecuación 8:

$$\frac{dF_i^C(V_X)}{dY} = 3aY^2 + 2bY + C \quad (9)$$

$$\frac{d^2F_i^C(V_X)}{dY^2} = 6aY + 2b \quad (10)$$

Al igualar a cero se obtiene el valor del punto de inflexión ($-b/3a$):

$$Y = -b/3a \quad (11)$$

El valor límite de rendimiento más alto de todas las expresiones de los nutrientes fue seleccionado para averiguar que el rendimiento mínimo asociado a una subpoblación de alto rendimiento será clasificado como un rendimiento alto para cualquier expresión nutrimental.

Los valores medios de V_N , V_P , V_K , V_{Ca} y V_{Mg} y las desviaciones estándar de las observaciones de rendimiento alto son considerados las normas de la técnica de diagnóstico de nutriente compuesto. Se debe confirmar que la suma de los logaritmos de las proporciones centradas debe ser igual a cero, lo cual indica que los cálculos se realizaron adecuadamente. Es recomendable que la base de datos se incremente con más datos para dar mayor validez a las normas, las cuales seguramente se modificarán al incrementar, particularmente, el rendimiento de referencia porque precisamente lo que debe de incrementarse es la subpoblación de altos rendimientos (Parent y Dafir, 1992).

Para la generación de las normas preliminares se utilizó el programa Microsoft Excel 2010, mientras que para identificar interacciones importantes se realizaron análisis de componentes principales con el programa Statistica Versión 9.1 (StatSoft Inc. 2010).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Los estimadores estadísticos descriptivos de la variable rendimiento presentaron los siguientes valores: media 44.89 Mg·ha⁻¹, mínimo 29.89 Mg·ha⁻¹, máximo 68.54 Mg·ha⁻¹ y desviación estándar 8.28 Mg·ha⁻¹.

4.1.1 Normas de diagnóstico de nutrimento compuesto

Las seis funciones cúbicas experimentales, entre cada función de varianza acumulada [$F_i^c(V_N)$, $F_i^c(V_P)$... $F_i^c(V_R)$] y el rendimiento, se aprecian en la Figura 3.

Todas las funciones se ajustaron a un patrón cúbico (Cuadro 1). Los valores de rendimiento asociados a los puntos de inflexión fueron 49.27, 45.79, 49.25, 47.04, 44.29 y 52.98 Mg·ha⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg y R, respectivamente (Cuadro 1). Puesto que los índices globales de desbalance nutrimental (DNC r^2) se ajustan a una distribución χ^2 (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006), la teoría del método de DNC recomienda tomar el valor de rendimiento más alto para ser usado en la partición de las observaciones en subpoblaciones de alto y bajo rendimiento. Como el rendimiento con el que se estima el valor crítico en la función de distribución acumulada de χ^2 , en este caso se eligió el rendimiento de 52.98 Mg·ha⁻¹ asociado a la función cúbica que involucra a R.

Tomando en cuenta este resultado, el 20 % de las observaciones constituyeron la sub-población de alto rendimiento.

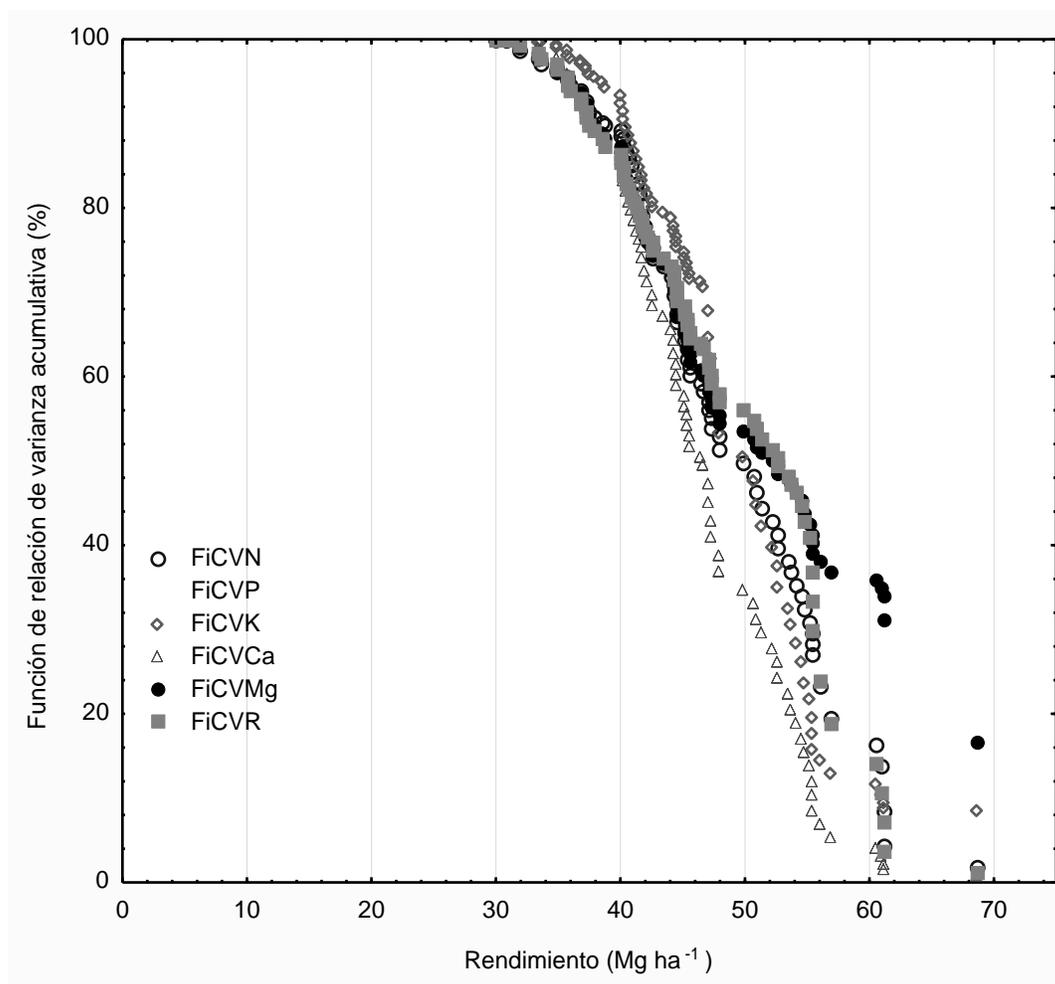


Figura 4. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento en chile ancho (*Capsicum annuum* L.) y las funciones de proporción de varianzas acumulativas en el arreglo S5 para estimar el punto de inflexión que separa a las sub-poblaciones de alto y bajo.

Cuadro 2. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión para cada función asociada a proporción de logaritmos centrados versus rendimiento en chile ancho (*Capsicum annuum*) San Martín en la Comarca Lagunera en la población estudiada (n= 80)

Nutrimiento	$F_i^C(V_x) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	R ²	Rendimiento (Mg·ha ⁻¹) en los puntos de inflexión (-b/3a)
N	$0.0037Y^3 - 0.5469Y^2 + 22.912Y - 194.71$	0.9912	49.27
P	$0.0058Y^3 - 0.7969Y^2 + 32.306Y - 304.53$	0.9646	45.79
K	$0.007Y^3 - 1.0344Y^2 + 46.036Y - 543.61$	0.9914	49.25
Ca	$0.0062Y^3 - 0.8751Y^2 + 36.225Y - 365.57$	0.9929	47.04
Mg	$0.0019Y^3 - 0.2525Y^2 + 8.622Y + 22.907$	0.9824	44.29
R	$0.0017Y^3 - 0.2702Y^2 + 11Y - 30.948$	0.9790	52.98

En el Cuadro 2 se presentan las normas preliminares de DNC como medias y desviación estándar (V_x^* y DE V_x^* , respectivamente) para el chile ancho variedad San Martín en la localidad de estudio, así como los rangos de concentración óptima correspondientes a cada nutriente. En promedio la concentración foliar óptima para un rendimiento referenciado en un rendimiento mínimo de 52.98 y máximo de 68.54 Mg·ha⁻¹ fue de 4.53, 0.12, 4.78, 2.40 y 1.30% de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Cuadro 3. Normas preliminares (Media V_x y DE de las V_x de DNC para $d = 5$ nutrientes y rangos de concentración óptimos (Media y desviación estándar, DE) en chile ancho (*C. annuum* cv.San Martín) en Florencia, Coah. Con un rendimiento de referencia de $52.98 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Relaciones logarítmicas centradas	Media	DE	Nutrimento	Media	DE
	V_x	V_x		(%)	(%)
V^*_N	0.42	0.06	N	4.53	0.27
V^*_P	-3.24	0.13	P	0.12	0.02
V^*_K	0.48	0.08	K	4.78	0.33
V^*_{Ca}	-0.21	0.06	Ca	2.40	0.18
V^*_{Mg}	-0.82	0.05	Mg	1.30	0.10
$V^*_{R_s}$	3.38	0.05	R	86.87	0.55
ΣV_x	0	-			

Las normas preliminares de DNC identificadas fueron utilizadas para estimar los índices nutrimentales de DNC (I_N, I_P, \dots, I_R) y de desbalance (DNC r^2) para cada observación. Los datos de DNC r^2 se ajustaron significativamente ($R^2 > 0.999$; $p < 0.001$) a la función de distribución χ^2 (Figura 2). El valor crítico de χ^2 debe ser considerado en los trabajos de validación de las normas de DNC, porque cada base de datos independiente debe estar caracterizada teóricamente por un valor similar (Khiari *et al.*, 2001).

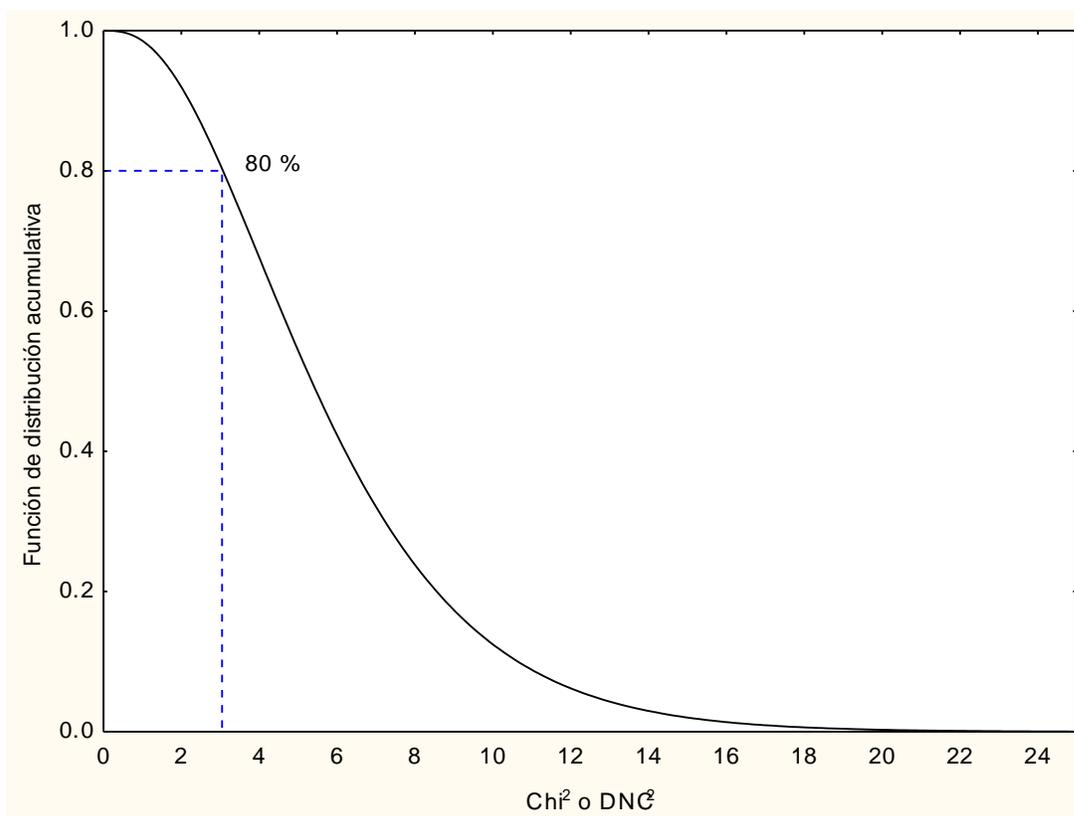


Figura 5. Función de distribución acumulativa de χ^2 con seis grados de libertad para obtener el valor crítico teórico (3.1) de DNC r^2 en el arreglo S5 asociado al 80 % de la población (subpoblación de bajo rendimiento)

4.1.2 Interacciones nutrimentales

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con los índices de DNC considerando tres casos: la base de datos completa (80 observaciones), las subpoblaciones de alto (16 observaciones) y las de bajo rendimiento (64 observaciones). Los coeficientes de correlación significativos en el ACP fueron obtenidos de la forma sugerida por Gutiérrez-Acosta *et al.* (2002), a través de la rotación de los componentes para maximizar la variación. En el primer caso (la población completa), un nivel de explicación de la varianza aceptable (79.7 %) del total se encontró en los tres primeros componentes principales (CP's) (Cuadro 4).

Por otro lado, en el caso de las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, los primeros tres CP's explicaron el 81.42 y el 81.12 % de la varianza total

respectivamente. Se aprecia que la estructura de los CP's, en cada caso, es definida por diferentes variables.

En el caso de la población completa (Cuadro 3), el primer CP está positivamente correlacionado con *IP* y negativamente con *Ca*, lo cual sugiere la interacción de antagonismo entre *P* y *Ca*. El segundo CP se correlaciona negativamente con *IMg* y positivamente con *IR*. Adicionalmente, el tercer CP se correlaciona negativamente con *IK*. Para la sub-población de alto rendimiento (Cuadro 4), la estructura del CP1 está definida por *IP* e *IK*, correlacionados en forma negativa al igual que *Mg* se correlaciona en el CP3, mientras que *ICa* se correlaciona positivamente en el CP2.

Cuadro 4. Análisis de componentes principales tomando en cuenta los índices de DNC para la población completa (80 observaciones), y las sub-poblaciones de alto (16 observaciones) y bajo rendimiento (64 observaciones) en chile ancho (*C. annuum* cv. San Martín) en Florencia, Coah.

Índice DNC	Base de datos completa			Subpoblación de alto rendimiento			Subpoblación de bajo rendimiento		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
<i>IN</i>	-0.484	0.593	0.205	0.423	-0.629	-0.047	-0.464	-0.659	0.016
<i>IP</i>	0.978	0.093	-0.074	-0.926	-0.222	0.254	0.986	0.009	0.030
<i>IK</i>	-0.501	-0.228	-0.801	0.841	0.269	0.098	-0.373	0.327	-0.833
<i>ICa</i>	-0.654	-0.488	0.339	0.454	0.757	0.235	-0.744	0.329	0.366
<i>IMg</i>	0.129	-0.701	0.545	-0.430	0.522	-0.712	-0.043	0.636	0.639
<i>IR</i>	-0.213	0.688	0.364	0.595	-0.480	-0.405	-0.105	0.762	0.320
Var e	1.93	1.62	1.23	2.49	1.59	0.80	1.89	1.63	1.34
Propt	0.322	0.269	0.206	0.415	0.266	0.134	0.315	0.272	0.224

Valores en negritas son los dominantes en las cargas eigenvector en nivel de significancia > 0.65. Var e= Varianza explicada. Propt = Proporción del total

En el caso de la sub-población de bajo rendimiento (Cuadro 4), la estructura del CP1 está definida por *IP* e *ICa*, correlacionados en forma negativa, lo cual sugiere un antagonismo entre P-Ca. Además, en esta misma subpoblación se encontraron las correlaciones negativas con *IR* en el segundo CP y con *IK* en el tercer CP.

4.2. Discusión

4.2.1 Normas de diagnóstico de nutrimento compuesto.

Se comparó el presente estudio en Chile con otros cultivos sobre DNC (García *et al.*, 2004) y Arroyo *et al.* (2013) en pimiento morrón, tomando en cuenta los mismos nutrientes analizados (N, P, K, Ca y Mg) como el 100%. Los resultados indican que la concentración óptima en caso de los chiles, comprende en su mayoría al par de nutrientes N y K, los cuales juntos forman más del 50% de éstos. Por otro lado, tomando en cuenta los mismos nutrientes analizados en plantas cuyo objetivo comercial es su parte vegetativa como nopal (Magallanes *et al.*, 2013, y sábila (García *et al.*, 2006, las concentraciones óptimas de nutrientes más altas son Ca y K con 76% en ambos casos.

Tanto en plantas de Chile que son para producción de fruto, como sábila y nopal que son para producción de biomasa se encuentra el K dentro de los nutrientes más abundantes y por lo tanto más requeridos. La razón por la cual existen por lo general altas concentraciones de K, es porque éste a diferencia de N y P, no es incorporado dentro de estructuras orgánicas y por lo tanto se encuentra en forma iónica en solución en la célula y actúa como un activador de muchas enzimas celulares (Njira y Nabwami. 2015). Es un ión que desempeña un papel fundamental en la osmorregulación celular y su deficiencia produce pérdida de turgencia y marchitamiento, más acentuado cuando hay déficit hídrico (Marschner *et al.*, 2012); además, tiene una alta influencia en atributos de calidad como la formación de compuestos bioactivos (ácido ascórbico y beta caroteno) (Lester *et al.*, 2010).

A diferencia de los rangos óptimos encontrados en chile güero (García *et al.*, 2004), que fueron 4.20-4.80, 0.30-0.35, 3.95-4.45, 2.53-2.87 y 0.65-0.72% de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, en el presente estudio (Cuadro 2) el fósforo y el calcio presentaron una concentración menor, mientras que potasio y magnesio estuvieron presentes en mayor concentración.

En chiltepín (García *et al.*, 2007) los rangos óptimos fueron de 3.4-4.1, 0.6-0.9, 5.0-5.6, 1.1-1.4 y 0.6-0.8 en por ciento de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Los resultados en chile morrón (Arroyo *et al.*, 2013) son los siguientes 4.27- 4.93, 0.38 – 0.47, 4.37- 5.57, 1.76- 2.22 y 0.60 – 0.72 en por ciento de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, notando que fósforo presenta un rango menor y calcio y magnesio una mayor concentración. Dicha tendencia coincide con los valores reportados en chile güero (García *et al.*, 2004). Cabe resaltar que el calcio tiene como función la regulación de la absorción de nitrógeno, participa en la traslocación de los carbohidratos y proteínas y actúa como mensajero entre factores ambientales y diferentes respuestas de las plantas en crecimiento y desarrollo (Marschner, 2012). Mientras que el magnesio, además de ser una parte integral de la clorofila, participa en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO₂. Así mismo, es responsable de la regulación de pH y del ajuste de turgencia de las células de la planta (Ross, 2004).

Las relaciones de equilibrio que deben guardar el Ca, Mg y K son esenciales para una buena asimilación de nutrientes en la planta y tienen una analogía estrecha con la cantidad de calcio cambiante en el suelo (Espinosa y Mite, 2002).

Estos resultados ratifican que es importante llevar a cabo la validación de las normas que se establecen para una localidad con condiciones edafoclimáticas específicas.

4.2.2 Interacciones nutrimentales

Para la sub-población de alto rendimiento (Cuadro 3), la estructura del CP1 está definida por IP e IK, correlacionados en forma negativa, así entonces, se sugiere la interacción negativa entre P y K. Esta misma interacción aunque fisiológicamente aún no ha sido explicada como un posible antagonismo entre P y K, ya que ha sido encontrada anteriormente por García *et al.* 2007, García *et al.* 2009, en el cultivo de chile (*Capsicum frutescens*) y nogal pecanero (*Carya illinoensis*), respectivamente; ambos el mismo tipo de suelos y condiciones agroecológicas similares.

Una completa comprensión de las interacciones nutrimentales es complicada actualmente, ya que éstas dependen de muchos factores tales como la concentración de nutrientes, temperatura, intensidad de luz, la aireación del suelo, la humedad del suelo, el pH del suelo, la arquitectura de la raíz, la tasa de transpiración de las plantas y la respiración, edad de la planta y la tasa de crecimiento, las especies de plantas y la concentración interna de nutrientes de las plantas (Fageria, 2005). Debido a esto, existen en ocasiones estudios contradictorios tales como Bossa (2005) en maíz.

El antagonismo P-Ca ha sido ampliamente reportado por Parent *et al.* (1994) en papa, así como en *Aloe vera* (García *et al.*, 2006), entre otros. Este antagonismo puede deberse a que en este tipo de suelos desérticos calcáreos las altas concentraciones de carbonatos de Ca retienen el P (Paul, 2007), lo cual lo hace menos disponible para la planta por lo tanto a mayor concentración de Ca, menor concentración de P.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Las normas preliminares de DNC tomando como referencia un rendimiento mayor a $52.98 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ fueron: $V^*N = 0.42 \pm 0.06$, $V^*P = -3.24 \pm 0.13$, $V^*K = 0.48 \pm 0.08$, $V^*Ca = -0.21 \pm 0.06$, $V^*Mg = -0.82 \pm 0.05$, $y = 3.38 \pm 0.05$ y se asocian a una concentración foliar óptima de 4.53, 0.12, 4.78, 2.40 y 1.30 % de N, P, K, Ca y Mg respectivamente. De acuerdo a estos datos tenemos una subpoblación de alto rendimiento de 20% del total de la población y con rendimientos que van de 52.98 a $68.54 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de chile ancho. Se presentaron dos interacciones negativas significativas a través de análisis de componentes principales: P y K para la subpoblación de alto rendimiento, mientras que en la población completa y la subpoblación de bajos rendimientos se encontró la interacción negativa P y Ca, lo cual nos sugiere estos casos de antagonismos P-K y P- Ca para este estudio.

CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA

- Albrecht, E.; Zhang, D., Mays, A., Deslattes, S., Robert. A., and Stommel, J. R. 2012. Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced by its ecogeographical distribution. *BMC genetics*, 13(1):13-68.
- Alegre, J.; López. D., Eymar, E., Alonso, N and Yébenes, L. 2003. Evaluating bearberry nitrogen nutrition using hydroponic cultures: establishing preliminary DRIS norms. *J. Plant Nutrition*, 26 (3): 525–542.
- Alonso, R.; Ponce, P., Quiroga, R., Rosales, M., Zuart, J., Moya, C., y Cabrera, A. 2008. Evaluación in situ de la variabilidad genética de los chiles silvestres (*Capsicum* spp.) en la región Frailesca del estado de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 29(2): 49-55.
- Alva, A. and Bille, S. 1981. Diagnostic techniques for cereals based on plant analysis. I. Stage of plant development. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12 (12): 1207-1225.
- Arroyo, L.; Tirado, J., Volke, V. y Valdez, R. 2013. Normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto y correlaciones entre nutrimentos y rendimiento en pimiento (*Capsicum annum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16(1): 69-82.
- Bates, T. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation, a review. *Soil sci.* 112 (2): 116–130.
- Blanco, F.; Lara, A., Valdez, R., Cortes, O., Luna, M. y Salas, M. 2006. “Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller).” *Revista Chapingo, serie Horticultura* 12 (2): 165-175.
- Caro, M.; Leyva, C. y Ríos, J. 2014. Competitividad de la productividad mundial del chile de México. *Revista de economía* 31(83):95-128.
- Catalán, V.; Villa, C., Inzunza, I. y Mendoza, M. 2006 Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *AGROFAZ* 6(3): 299-307.
- Dris, R. 2002. Crop Management and sustainable production. In: *Plant Nutrition Growth and Diagnosis*, Editors Dris R., Abdekaziz F.H., Jain S.M. Pp: 73-76.

- Epstein, E. and Bloom, A. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- Fallahi, E.; Colt, W. and Fallahi, B. 2001. Optimum ranges of leaf nitrogen for yield, fruit quality, and photosynthesis in 'BC-2 Fuji' apple. *Journal of the American Pomological Society. University Park.* 55(2):68-76.
- FAO. 2001. Directrices para ensayos y demostraciones de nutrición vegetal y manejo de suelos a nivel finca.
- FAOSTAT ProdSTAT Crops. 2009. FAO. <http://faostat.fao.org/org/site/567/default>
- FAOSTAT, F.A.O. 2012. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fonseca, R.; Malveira, R., Silva, W., López, M. and Medeiros, F. 2008. Morphologic characterization and genetic diversity of Capsicum Chinese Jacq. Accessions along the upper Rio Negro – Amazonas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 81(3): 187-197
- García, J.; Orona, I., González, G., Valdez, R., Murillo, B., Troyo, E., Fortis, M. and Segura, M. 2009. Nutrient interactions and compositional nutrient diagnosis norms in pecan tree (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo-Serie Horticultura* 15(2): 141-147.
- García, J.; Valdez, R., Murillo, A., Nieto, A., Beltrán, L., Magallanes, R. and Troyo, E. 2004. Compositional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soils. *Journal of plant nutrition and soil science* 167 (4): 509-515.
- García, J.; Valdez, R., Murillo, B., Beltrán, A., Ruiz, F., Orona, I., Flores, A. and Troyo, E. (2006). Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in Aloe vera l. Grown on calcareous soil in an arid environment. *Environmental and experimental botany* 58(1-3): 244-252.
- González, A.; Sierra, E., Luna, J., Pérez, R., Rodríguez, J. and García, J. 2013. Characterization of different Capsicum varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. *Molecules* 18 (11): 13471-13486
- Greenleaf, W. 1986. Pepper Breeding. In: J.B. Mark (Ed.). Breeding Vegetable Crops. Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.

- Gutiérrez, F.; Valdez, R. and Blanco, F. 2002. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. *Acta Horticulturae* 581 (8): 111–118.
- Khiari, L.; Parent, L. and Tremblay, N. 2001. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy journal* 93 (4): 802-808.
- Krantz, B.; Nelson, W. & L, B. 1948. Plant tissue tests as a tool in agronomic research. Pp137-156. In: HB Kitchen (ed.). Diagnostic techniques for soil and crops. American Potash Institute, Washington, DC.
- Landriscini, M. 1992. Nivel de nutrientes edáficos y foliares en trigo en la región semiárida pampeana. Tesis de Magister en Ciencia del Suelo. UNS. Bahía Blanca.
- Latournerie, L.; Chávez, J., Pérez, M., Castañón, G., Rodríguez, S., Arias, L. y Ramírez, P. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (1): 25–33.
- Macías, R.; Grijalva, R. y Robles, F. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biocencia*, 14(3): 32-38.
- Magallanes, R.; Valdez, R., Blanco, F., Márquez, M., Ruíz, R., Pérez, O., García, J., Murillo, B. and López, J. 2005. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of Professional Association for Cactus Development*. 15(2): 141-147,
- Magallanes, R.; Valdez, R., Olivares, E., Pérez, O., García, J. and López, J. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *Journal of plant nutrition* 29(11): 2019-2033.
- Malaguti, D.; Rombola, A., Quartieri, M., Lucchi, A., Inderst, C., Marangoni, B., and Tagliavini, M. 2006. Effects of the Rate of Nutrients by Fertigation and Broadcast Application in 'Gala' and 'Fuji' Apple. *Acta Horticulturae* 721(21):165-172.
- Malavolta, E.; Vitti, G. & Oliveira, S. 1997. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Princípios e Aplicações. 2. Ed. Piracicaba: POTAFOS, Brasil.
- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Edited by. Elsevier, London, UK. 651 p.

- Melsted, S.; Motto, H. and Peck, T. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron J.* 61(1): 17-20.
- Mengel, D. 1995. Roots, growth and nutrient uptake. Dept. of Agronomy. Agronomy Department, Purdue University West Lafayette.
- Mettu, R. y Kandasamy, U. 2015 Nitrogen Nutrition, Its Regulation and Biotechnological Approaches to Improve Crop Productivity. *American Journal of Plant Sciences*, 6 (18): 2745-2798
- Mite, F.; Carrillo, M. y Espinoza, J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en Ecuador. *Informaciones agronómicas* No. 36.
- Olivera, M. y García, J. 2013. Promoción de la conservación de la biodiversidad mediante el aumento de la demanda interna de ajíes nativos en Bolivia. *Av. Investig. Agropecu.* 17(2): 57-63
- Parent, L. and Dafir, M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(2): 239-242.
- Parent, L.; Cambouris, A. and Muhawenimana, A. 1994. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1432-1438.
- Parent, L.; Dafir, M., Isfan, M., Tremblay, N. and Karam, A. 1994. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(3): 420-426.
- Parent, L.; Poirier, M. and Asselin, M. 1995. Multinutrient diagnosis of nitrogen status in plants. *Journal of plant nutrition*, 18(5): 1013-1025.
- Rigon, A.; Leonardi, B. , Miron, D., Rodríguez, S. and Gosmann, G. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory properties of Capsicum *Journal of Ethnopharmacology*, 139 (1): 228-233.
- Ríos, J.; García, J., Cano, P., Valdez, R. y Preciado, P. 2015. Importancia del análisis foliar y su relación al diagnóstico nutrimental de los cultivos. En nutrición mineral de las plantas, agricultura sustentable y protegida. NUVE. Granada, España. Pp: 200-230.
- Ryan, J. 2008. A perspective on balanced fertilization in the Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2): 79-89.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)-SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. México. Página web: <http://siap.gob.mx>.
- Salazar, E.; López, J., Trejo, H., Vázquez, C., Fortis, M., Zúñiga, R., Vital, J. y Cano, P. 2007. Aplicación al suelo de estiércol bovino con y sin solarización y su impacto en el maíz forrajero en: uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad. Gómez Palacio México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo, COCYTED.
- Schweiggert, U.; Carle, R. and Schieber, A. 2006. Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens* L.) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 557(1): 236-244.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México. Página web: <http://siap.gob.mx>
- Tremblay, N.; Auclair, P., Parent L. and Gosselin, A. 1993. A multivariate diagnosis approach applied to celery. *Plant and soil*, 154(1): 39-43
- Valdez, R.; Magallanes, R., Rubio, S., García, J., Murillo, A., Troyo, E. y Blanco, F. 2005. Normas nutrimentales DNC para Chile (*Capsicum annuum*) tipo 'mirasol' seco. Pp. 150-157. In: second world pepper convention. Zacatecas, México. (14-16)-08-2005.
- Walworth, J. and Sumner, M. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In *Advances in soil science* Pp. 149-188. Springer New York.
- Wing, L.; Won, K. and Byoung, K. 2013 Genetics, genomics and breeding of peppers and eggplant. Editorial CRC Press Taylor and Francis group.