

**BIOACTIVADORES ORGANICOS Y QUELATO DE HIERRO EN EL
CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) var. MONDIAL**

SUSANA SOLIS GAONA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRONOMO DE LA ESPECIALIDAD DE
SUELOS**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARÍA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SUELOS**

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Bioactivadores organicos y quelato de hierro en el cultivo de papa

(*Solanum tuberosum* L.) variedad Mondial

Por:

SUSANA SOLIS GAONA

Que somete a consideración del h. jurado examinador como requisito parcial

para obtener el título de :

INGENIERO AGRONOMO EN SUELOS

APROBADA

DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS

PRESIDENTE DEL JURADO

M. C. JESÚS GARCÍA CAMARGO

VOCAL

M. C. RICARDO CUELLAR FLORES

VOCAL

M. C. MODESTO C. ANDRADE HERNANDEZ.

SUPLENTE VOCAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Noviembre de 1998.

DEDICATORIA

PORQUE SU AMOR ES LA FUERZA QUE ME IMPULSA A SEGUIR
ADELANTE EN LA VIDA DEDICO ESTA TESIS A :

MIS PADRES:

María Ines Gaona Morales

Santiago Solis Charles

MIS HERMANOS:

Reynaldo

Ma. de los Angeles

Santiago

Dulce

Ania Veronica

Flavio

Esmeralda

AGRADECIMIENTOS

A DIOS nuestro señor por todos los dones que me ha brindado y por
permitirme llegar hasta donde estoy

A mi Alma Terra Mater por haberme brindado una oportunidad para
superarme en la vida

A el Dr. Eduardo Narro F. por guiarme, comprenderme y apoyarme en mis
momentos de vacilación

Ing. Antonio Carlos

Ing. García Camargo y el Ing. Ricardo Cuellar

A mis maestros,

Compañeros de trabajo de campo, Hugo, Poncho, Lupita y Yiza.

compañeros de generación

amigos

A Biocampo, S. A. de C. V., por el apoyo brindado, especialmente a el Ing.

Modesto, Ing. Luis Carlos y a el Ing. Pascual.

A todos los que me apoyaron para llevar a buen fin este trabajo.

etc.....

I. INTRODUCCIÓN

Por sus propiedades nutritivas, la papa tiene gran aceptación en el mundo, para el consumo humano y otros usos. Durante el año de 1996 se sembraron en México 63,557 ha, de las cuales se cosecharon 62,685 con un rendimiento promedio de 20.460 ton ha⁻¹. Los estados que reportaron mayor superficie cosechada son: Sinaloa con 9,091 ha, Estado de México con 7,422 ha, Puebla con 6,879 ha, Chihuahua con 6,602 ha, Guanajuato con 5,445 ha, Veracruz con 4,418 ha, Nuevo León con 3,867 ha, Tlaxcala con 3,649 ha, y Coahuila ocupa el décimo primer lugar con una superficie de 1,923 ha (SAGAR, 1998).

Para poder producir grandes cosechas, frecuentemente se requiere resolver problemas complejos, y en especial donde los suelos son calcáreos, de pH alcalino, texturas limosas, de poca profundidad y de pobre contenido de materia orgánica, que se refleja en una pobre estructura; este tipo de suelos es muy común en la región papera de Coahuila y Nuevo León.

Las características mencionadas propician una serie de problemas para el cultivo de la papa, entre los cuales destacan el bajo aprovechamiento de nutrimentos como el fierro, fósforo, zinc y otros, lo que repercute en bajos rendimientos y pobre calidad del producto cosechado.

Un buen manejo del cultivo resulta obligatorio para hacerlo remunerativo y esto genera una importante fuente de trabajo ya que se utilizan labores que requieren de gran cantidad de mano de obra, principalmente en la siembra y en la cosecha.

Para resolver los problemas asociados con la nutrición férrica existen varias opciones, entre las que se encuentran el uso adecuado de fertilizantes de Fe quelatados con EDDHA, enriquecimiento orgánico del suelo, aplicación de sustancias húmicas, mejores prácticas de labranza y otras, por lo que en este trabajo se estudia el impacto de bioactivadores vegetales y

mejoradores de suelo con diferentes dosis de quelatos de fierro a base de EDDHA.

HIPÓTESIS

1. La aplicación de bioactivadores húmicos al cultivo de papa genera una disminución en valor de pH del suelo calcáreo, no provoca acumulación de sales y aumenta el contenido de nitrógeno soluble en el suelo.
2. La aplicación de sustancias húmicas con quelato de fierro a base de EDDHA al cultivo de papa incrementa el rendimiento y calidad de tubérculos.

OBJETIVOS

1. Evaluar la respuesta del cultivo de la papa en un suelo calcáreo, a la aplicación de sustancias húmicas y un quelato de Fe a base de EDDHA.
2. Evaluar una dosis de diferentes bioactivadores vegetales - mejoradores de suelo, solos y combinados con quelatos de fierro a base de EDDHA, en el cultivo de papa, variedad mundial.
3. Mejorar las características del suelo cultivado con papa por la aplicación de sustancias húmicas y quelatos de fierro.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción del cultivo de papa

La papa pertenece a la familia *Solanaceae*, la cual tiene aproximadamente 2000 especies entre las que se encuentra el tomate, chile, tabaco, berenjena y pimiento. Es una planta dicotiledónea, herbácea anual de tipo arbustivo, potencialmente se considera perenne debido a que puede reproducirse por tubérculos.

La propagación del cultivo de la papa se hace principalmente por tubérculos a pesar de que se pueden presentar desventajas como la transferencia de virus, altos costos de transporte, importación y almacenamiento, esto debido a que la producción de semilla botánica es difícil debido a problemas de polinización y cuajado de fruto en algunas variedades, y el uso de semilla artificial (producida en invernadero) está limitado por la falta de experimentación en su obtención (Bustamante y Cárdenas, 1991).

Tubérculo

Es una parte del tallo adaptada para almacenar reservas y para servir como órgano de reproducción vegetativa. El tubérculo se forma en el extremo del estolón por acumulación de reservas que producen un rápido desarrollo y división celular, la unión del estolón con el tubérculo generalmente muere cuando la planta alcanza la madurez o se rompe durante la recolección.

Cuadro 2.1. Composición media del tubérculo fresco:

Componente	Contenido, %
Agua	65 – 85
Hidratos de Carbono	15 – 28
Proteínas	1 – 4
Grasas	0.05 - 0.9
Cenizas	0.5 - 1.5

Contiene además otros compuestos tales como: azúcares, polisacáridos no amiláceos, enzimas, ácido ascórbico, vitaminas, sustancias fenólicas, ácidos nucleicos, etc. El tubérculo presenta dos zonas diferenciadas: la epidermis o parte superficial del tubérculo y el peridermo o zona interior.

Raíz

Las plantas que provienen de tubérculos producen raíces adventicias en los nudos de los tallos subterráneos y en los estolones, éstas emergen generalmente en grupos de tres, las que provienen de semilla botánica poseen una raíz principal delgada, la cual se transforma en fibrosa (Valadez,1992). La población de raíces adventicias en los 7.5 a 10 cm es más densa, la raíz principal mide generalmente de 15 a 60 cm de largo; durante las labores de cultivo se debe evitar cortar las raíces próximas a superficie (Edmond, 1981). La mayoría de las raíces se encuentran en los primeros 40 cm de profundidad del suelo (SEP, 1987).

Tallos

Los tallos son herbáceos y en etapas avanzadas de desarrollo la parte inferior suele ser leñosa; son de color verde, ramificados y un corte transversal muestra que es hueco y triangular; la parte baja del tallo es redonda y sólida. Las ramas laterales que salen del tallo principal se llaman secundarios, los estolones de la papa son tallos laterales, normalmente subterráneos.

Hojas

Las hojas son compuestas, consisten de un pecíolo con un folíolo, terminales laterales, secundarios y a veces terciarios, provistos de pelos de diversos tipos, también presentes en las demás partes aéreas de la planta; la producción de nuevas hojas se reduce en la etapa de inicio de producción de tubérculos, y al alcanzar su máximo desarrollo se tornan amarillentas y se desprenden. En las axilas que forman las hojas con el tallo nacen yemas vegetativas.

Flor

Las flores son pentámeras, de diversos colores que van del blanco al morado, SEP (1987). El número de flores depende de la variedad, son individuales y perfectas, de tamaño regular y nacen en racimos en la extremidad de los tallos. Poseen estilo y estigma simple, corola entera, dispuestas en pedúnculos, de ovario súpero, el color varía de acuerdo a la variedad, puede ser blanco, rosa, lila, morado fuerte o combinaciones de estos (Báez, 1983).

Fruto

El fruto maduro es de forma redonda u oval, el color varía de verde a amarillo o incluso violeta y púrpura oscuro cuando madura. Su tamaño varía de 1 a 3 cm de diámetro, consta de dos cavidades o lóculos en los que puede contener hasta más de 300 semillas, que son pequeñas y aplastadas. Rara vez se cultiva la papa a partir de semilla verdadera, excepto con fines genéticos de obtención de nuevas variedades y de investigación, esto debido a la gran variabilidad fenotípica que se produce en su progenie (Alonso, 1996).

2.2. Importancia

SAGAR (1998) reporta una superficie anual cosechada en México, de 62, 685 ha, con un rendimiento medio de 20.460 ton ha⁻¹. El cultivo de la papa ocupa el cuarto lugar en producción anual, después del arroz, trigo y maíz.

2.3. Requerimientos de clima

La papa requiere para su mejor desarrollo de climas templados, sin excesos de humedad que dañe la maduración de tubérculos; sin persistentes calores secos que reducen el crecimiento de la producción, (Fersini, 1976).

2.3.1. Temperatura

Báez, (1983) cita a Moorby, (1968) quien menciona que la papa no soporta sin daño, temperaturas menores de 0° C. Las temperaturas más adecuadas para cada etapa del ciclo de la planta son: 7 °C para germinación, 14 °C para floración y maduración del tubérculo, y de 26 a 29 °C se considera la temperatura límite para el buen desarrollo del tubérculo.

En el trópico la temperatura óptima para tuberización es alrededor de 18.5 °C en contraposición a los 20 °C que se da para otras latitudes, la cual se inicia 45 días después de plantar, en variedades del grupo tuberosum. También menciona que hay una tendencia a mayor número de tallos en localidades de más bajas temperaturas, lo que concuerda con la cifra de 18 °C que es la temperatura óptima para el alargamiento de tallos, y el largo de estolones aumenta a medida que la temperatura baja (Montaldo, 1968).

El cultivo de papa prefiere climas de frescos a fríos para una mayor producción de carbohidratos y un desarrollo más lento de la planta, con una temperatura media de 18 °C (Casseres, 1981).

Las altas temperaturas favorecen la presencia de la bacteria *Erwinia*, causante del marchitamiento de plantas y podredumbre de tubérculos (Alonso, 1996).

Las papas cultivadas con temperaturas altas, especialmente si éstas se dan al final del período de crecimiento tienen un período de reposo más corto que las cultivadas a temperaturas bajas (Horton, 1992).

Las condiciones que favorecen la floración generalmente también favorecen la tuberización; las condiciones desfavorables para la floración, tales como tiempo caluroso y seco también afectan la formación de tubérculos (Alonso, 1996).

La brotación de tubérculos almacenados ocurre a más de 4 °C, por lo que el almacenamiento a baja temperatura prolonga la vida de los tubérculos. Para cicatrizar heridas en tubérculos dañados o cortados deliberadamente o rápida formación de la piel se requiere temperaturas de 15 a 20 °C (Horton, 1992).

La tuberización se adelanta con temperaturas bajas y por el contrario se retrasa si se dan temperaturas altas.

2.3. 2. Luz

Las papas cultivadas en días cortos, tienden a tener un período de reposo más corto que las cultivadas en lugares con días largos, (Alonso, 1996).

La exposición de tubérculos a la luz durante el almacenamiento retarda el crecimiento de brotes y se desarrollan brotes verdes más cortos y vigorosos que los brotes de tubérculos almacenados en la oscuridad, en tubérculos - semilla puede prolongar el período de vida, pero no se recomienda en papa de consumo humano ya que el verdeado produce un sabor amargo (Horton, 1992).

Las papas cultivadas en zonas con días largos tuberizan más tarde que las cultivadas en zonas con días cortos. La especie *Solanum andigena* requiere de 12 horas luz para que se produzca la tuberización (Alonso, 1996).

Montaldo (1968) menciona que todas las especies y variedades de papa crecen más en días largos y disminuyen su crecimiento cuando los días se acortan.

La baja intensidad lumínica estimula el crecimiento vegetativo del follaje y retrasan el crecimiento de los tubérculos; la intensidad de la luz se da en función de la altitud del terreno (Alonso, 1996).

2.3.3. Humedad

Los tubérculos almacenados en condiciones de humedad relativa alta tienen períodos de reposo cortos, los cultivos que tienen suficiente agua producen más follaje y empiezan a tuberizar más tarde que los que no han tenido disponible el agua necesaria (Horton, 1992).

La aplicación de 1.3 hasta 1.5 mm de agua hr^{-1} en riego por aspersión, cuando la temperatura pasa de 26.5 °C puede producir un descenso de 6 °C en la temperatura del follaje (Peterson y Weigle, 1970)

Excepto donde el agua es limitante, el índice de crecimiento de tubérculos es lineal para la mayoría de los estados de crecimiento de las plantas de papa, lo que indica la importancia de este elemento para el buen desarrollo del cultivo (Milthorpe, 1979).

Montaldo (1984) señala que en el último período de desarrollo de los tubérculos (cuando ya están formados) la presencia de humedad ocasiona nuevos crecimientos vegetativos de la planta, con su correspondiente depósito de almidón, lo que provoca tubérculos con hijuelo y rajaduras que disminuyen la calidad de los mismos.

2.4. Requerimientos de suelo

La papa se adapta a terrenos muy diversos, pero prefiere los de textura media, bien labrados, de fácil penetración del agua, provistos de materia orgánica descompuesta, por lo tanto se adapta mal a los terrenos duros y fuertes tendiendo a lo compacto, rechaza cualquier contacto directo con abono fresco, cenizas de la leña y la cal que la hacen arrugada y escamosa, (Fersini, 1976).

2.4.1. Tipo de suelo

Los mejores suelos para papa son los porosos, friables y bien drenados, profundidad de 25-30 cm, los derivados de materia orgánica son los mejores y producen las más altas cosechas (Montaldo,1968). En suelos franco - arenosos se reduce el crecimiento radical bajo la capa arable.

2.4.2. Reacción del suelo (pH)

El rango de pH más adecuado para un mejor desarrollo del cultivo de papa es de 5.0 a 5.4, suelos con pH arriba de 5.4 y largamente cultivados con papa, presentan problemas de ataque de *Streptomyces scabies*, organismo que provoca la sarna común en los tubérculos, y en suelos con pH menor de 5.0 la acidez afecta la asimilación de elementos nutritivos y aumenta Al y Mn haciéndolos tóxicos para las plantas, (Montaldo,1968).

Otros autores señalan que el cultivo de la papa se desarrolla bien a pH de 5.5 a 7.0 (SEP, 1987).

2.5. Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas son compuestos resultantes de la actividad microbiana sobre residuos de material orgánico vegetal o animal. Son resistentes a una mayor biodegradación y persistentes en el medio acuático durante largo tiempo. (Tesauro, 1997).

La relación C:N de la M.O. humificada, varía entre 9 y 14 y es más baja en zonas áridas que en zonas lluviosas. Bajo condiciones de igual precipitación es más alta en climas fríos y es mayor en suelos ácidos y menor en suelos neutros y alcalinos.

La descomposición de la fracción orgánica de los suelos aumenta conforme la acidez disminuye y el pH no afecta la mineralización del carbono y el nitrógeno (Ortega T.E. 1978).

En la primera etapa de humificación se forma principalmente ácido húmico, en la segunda etapa vuelve la oxidación química o enzimática para degradar al ácido húmico en ácido fúlvico. Los ácidos húmicos comerciales se extraen principalmente de leonardita, lignito y turbas (Narro, 1997).

Una tercera parte del humus son ácidos húmicos y sustancias relacionadas. Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos de color marrón y amarillo, que se extraen del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras, o disolventes orgánicos, y se pueden precipitar por ácido mineral diluido (Narro, 1997).

2.5.1. Características de las sustancias húmicas

- a. Son partículas de color café a negro, polidispersas, peso molecular alto; 50-60% C, 30-40% O, 3-5% H, 2-5% N y otros nutrimentos como K, Fe, Zn, Mn.
- b. Su CIC a pH de 7.0 es de 300 a 450 meq 100g, que es mayor que la de los coloides inorgánicos.
- c. Poseen energía química en sus moléculas, la cual utiliza la planta cuando las absorbe y digiere (Narro, 1997).

Los ácidos húmicos contienen de 3.5 a 5% de nitrógeno, el cual representa la parte constitucional de la molécula, son sustancias porosas, por lo que poseen alta capacidad de absorción y retención de la humedad (Cepeda, 1991).

El ácido húmico tiene dos radicales uno básico y otro ácido, los cuales pueden reaccionar, según el pH, como ácidos o como bases, en pH básico se deprime la disociación del ion hidroxilo y en ácido la del catión, (Gavande, 1979)

Estudios sobre las sustancias húmicas procedentes de distintos horizontes de diversos suelos, comparándolas con las obtenidas de carbonos vegetales y, basándose en los resultados de los análisis de su composición, encontraron que los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos procedentes de los materiales carbonáceos son idénticos a los procedentes del suelo, (Kumada, 1983).

Los ácidos húmicos y especialmente los ácidos fúlvicos disponen de gran facilidad para complejar los iones metálicos en gran proporción, la fracción fúlvica tiene mayor poder complejante para el Mg, es la que más fácilmente se desprende de su ion Zn, y aunque también cede su ion Fe, lo hace con menor intensidad que la fracción húmica (Fortun, 1986).

Los ácidos húmicos son propensos a la peptización (contrario a coagulación), fenómeno que causa alta estabilidad de dichas sustancias orgánicas en presencia de iones con carga eléctrica, (Gavande, 1979).

Los responsables de la mejora estructural de los suelos son los polisacáridos, la fracción fúlvica radica en la formación de macroagregados por la acción de microorganismos, y la fracción de ácidos húmicos incide en la formación de microagregados, pues al ser resistentes a la degradación microbiana, no tienen eficacia en la macroagregación (Franco y Bañon, 1996).

La adición de humus coloidal a arena de cuarzo, produjo, después de cierto tiempo, agregación de 71 y 94% de arena en sistemas saturados de calcio e hidrógeno respectivamente (Baver, 1973).

2.5.2. Efectos en las características del suelo

Las sustancias húmicas activan el metabolismo vegetal y a través de las plantas modifican favorablemente las características de los suelos agrícolas, por lo que al final del ciclo de cultivo donde se utilizó este material, se han reportado los siguientes beneficios:

- a. Mejora estructura del suelo y aumenta su capacidad de retención de agua.

- b. Reducen densidad aparente y densidad de sólidos.
- c. Reduce compactación y resistencia a penetración de raíces; facilita laboreo.
- d. Reduce formación de costras y grietas.
- e. El color tiende a ser más oscuro.
- f. Aumenta capacidad de intercambio catiónico.
- g. Aumenta la disponibilidad de algunos nutrientes.
- h. Desbloquean compuestos insolubles de fósforo.
- i. Acidifican ligeramente el suelo.
- j. Quelatan o ponen intercambiables algunos cationes.
- k. Aceleran la mineralización de nutrientes inmovilizados.
- l. Incrementan la población de microorganismos aeróbicos saprófitos.
- m. Afecta biodegradabilidad de muchos pesticidas.
- n. Reduce desnitrificación, fijan amonio.
- o. Desbloquear elementos minerales del suelo.
- p. Fijan abonos, disminuyendo las pérdidas por lixiviación.
- q. Activan la flora microbiana.

(Narro, 1997).

Las fracciones húmicas de elevado peso molecular, relativamente inertes contribuirán de forma indirecta, influyendo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mientras que las de bajo peso molecular presentarán una mayor actividad con respecto a los procesos fisiológicos y metabólicos de la planta (Vaguean, 1985).

Al mezclar óxido férrico hidratado y ácido húmico en un sistema de arcilla limosa, se forman agregados muy estables (Walter, 1965) mencionado por André (1988).

2.5.3. Efectos en las plantas

Los efectos más importantes de los bioactivadores húmicos sobre las plantas, se puede resumir en los siguientes puntos:

- a. Estimula la germinación de semillas y emergencia de plántulas.
- b. Estimula división celular y desarrollo de meristemos.
- c. Incrementa permeabilidad de membranas vegetales
- d. Favorece el desarrollo del sistema radical e incrementa densidad de raíces.
- e. Facilitar la absorción de nutrimentos por vía foliar y radical, al aumentar la permeabilidad celular.
- f. Incrementa asimilación de nutrimentos.
- g. Mejora el transporte de nutrimentos en la planta.
- h. Acelera fotosíntesis, así como respiración.
- i. Estimula procesos de utilización de nutrimentos.
- j. Aumenta producción de biomasa y crecimiento vegetal.
- k. Incrementa respiración y actividad oxidativa de raíces.
- l. Mejora nutrición vegetal
- m. Incrementa rendimientos
- n. Mejora calidad del producto
- o. Provoca un adelanto a cosecha

(Narro, 1997)

2.6. Hierro

2.6.1. Hierro en suelo

El hierro existe en los suelos en cantidades muy variables y generalmente altas; se considera que el hierro es el microelemento más abundante en los suelos, pero en la mayoría de los casos sólo una pequeña fracción corresponde a formas asimilables. La fracción más útil es la intercambiable, que equivale aproximadamente a la que es extraíble con ácidos diluidos y es fácilmente reducible. En suelos de pH elevado, el hierro se insolubiliza formando hidróxidos y, por ello, suele aparecer la carencia de dicho elemento en los cultivos desarrollados sobre suelos cuyo pH es superior a 6.5 (Yúfera, 1973)

Los principales minerales existentes en el suelo que contienen Fe son: en forma de óxidos lo contiene la hematita, geotita y magnetita; como sulfuros la pirita; en forma de carbonatos, la siderita; y como silicato, el olivino y la glauconita (Krauskopf, 1972, citado por André, 1988).

En suelos cuya solución es rica en materia orgánica cantidades importantes de Fe pueden reducirse y presentarse en forma de Fe^{2+} o adsorbida. A medida que el pH de la solución del suelo es mayor, la adsorción se acentúa y se forman compuestos insolubles de Fe (II) (André, 1988).

2.6.2. Hierro en planta

El hierro está disponible para la planta como Fe^{2+} , Fe^{3+} y como quelato. Narro (1995) menciona que el Fe se encuentra en la planta como un componente de varios sistemas enzimáticos y de la proteína ferredoxina, participa en la reducción de sulfatos y nitratos,

así como en la síntesis de proteínas y de clorofila, su contenido en el follaje va de 10 a 1000 ppm, con un rango de suficiencia entre 35 y 75 ppm.

Los metales como el Fe, Cu y Mn se pueden encontrar en distintos estados de valencia, y en combinación con enzimas o coenzimas proteínicas pueden servir como transmisores de electrones en una cadena de procesos metabólicos gracias a la cual se oxidan los substratos orgánicos (André, 1988).

Existen especies eficaces y otras poco dotadas para absorber el Fe. Las enzimas férricas contienen hierro como parte integral de la molécula; en la mayoría de los casos, el Fe se presenta en forma de hematina, esta porfirina está unida a la proteína de la enzima y forma una cromoproteína (reciben el nombre de grupos prostéticos los que se presentan combinados con proteínas como hematina, fosfato de rivoflavina, etc.) (Frear, 1956).

Los papeles del hierro en las plantas son muchos e importantes: para la formación de clorofila, en la fotosíntesis, la respiración, la formación de proteínas, fijación de nitrógeno, etc., (André, 1988).

Se puede encontrar al Fe en mayores cantidades en las hojas de la planta, bajo forma de fitoferritina, que es una fosfoproteína férrica, la cual constituye una reserva de Fe para las necesidades de la fotosíntesis, los cloroplastos pueden encerrar hasta un 80% del Fe de la planta (Tiffin, 1972, citado por André, 1988).

2.6.3. Absorción del Fe

Las raíces absorben al Fe en forma de Fe^{2+} o en forma quelatada, su absorción está asociada a la capacidad de las raíces para reducir el pH y reducir el Fe^{3+} en Fe^{2+} en la rizósfera (Brown, 1978, citado por André, 1988).

El hierro se absorbe por la planta en forma ferrosa y férrica, además de algunas otras formas orgánicas complejas como los quelatos, pero principalmente en forma ferrosa (Rodríguez, 1982).

La reducción de Fe^{3+} es un estado previo a la absorción, en la absorción del hierro, influyen los cationes presentes en el suelo como; K, Ca, Mg, Zn, y Cu, (André, 1988).

La forma de absorción de quelatos es variable; se ha observado la absorción de moléculas completas de quelato, en otra se absorbe el secuestrador y en otros el metal (Yúfera, 1973). Las zonas radicales de absorción de Fe están muy limitadas y su formación podría determinar la capacidad de absorción del Fe (Clarkson y Sanderson, 1978, citado por André, 1988).

La liberación de H^+ por las raíces reduce el pH de la zona radicular y favorece la solubilidad de Fe^{3+} , la quelación y reducción a Fe^{2+} , esto varía de acuerdo a la variedad (André, 1988).

El N, K y Na, poseen una movilidad muy alta en la absorción foliar; la del P, Cl y S es relativamente alta, y es de media a escasa la de Zn, Cu, Mn, Fe y Mo. Es muy escasa la de B, Mg y Ca (André, 1988).

2.6.4. Deficiencias de hierro

Cuando existe deficiencia de Fe en papa, la planta presenta clorosis intervenal en hojas

jóvenes, y si la clorosis es severa puede presentar coloraciones blanquecinas y mostrar síntomas en toda la planta. La deficiencia puede ser ocasionada por una o varias de más de 15 diferentes causas que la producen. Se recomienda utilizar para los suelos calcáreos quelatos a base de EDDHA o EDDHMA desde etapas tempranas de crecimiento de las plantas, aunque su demanda es mayor durante el crecimiento rápido (Narro, 1997).

La deficiencia en Fe bajo el efecto de un pH elevado se puede acentuar por el exceso del agua, por falta de aireación en el suelo o por acción de otros elementos, como P, Mn, Cu, Zn y Mo (André, 1988).

Montaldo (1984) menciona dos causas de clorosis férrica; una producida por la cal aplicada y la otra por una relación no equilibrada entre el hierro y los demás oligoelementos, especialmente el manganeso.

Tisdale y Nielsen (1987) mencionan que excesivas cantidades de cobre deprimen la actividad del hierro y pueden ocasionar síntomas de deficiencia en Fe que aparecen en las plantas, la cantidad de Fe en suelo va de 200 ppm hasta más del 10%.

Montaldo (1984) dice que no se han señalado deficiencias específicas de hierro en papas, y menciona que Smith y Nash, (1937) obtuvieron experimentalmente una fuerte baja en rendimiento y número de tubérculos por falta de Fe.

Las deficiencias de hierro son más difíciles de corregir pues es el ion que se inactiva más en el suelo (Yúfera, 1973).

En suelos de pH alto, con alto contenido de calcio, la forma férrica tiende a la formación de hidróxido férrico, que precipita volviéndose insoluble, y se produce una severa clorosis, llamada “clorosis caliza” (Rodríguez, 1982).

2.6.5. Interacciones

La presencia del Fe decrece por influencia de otros cationes como K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn (Moore, 1972, citado por André, 1988).

La adición de quelato de Fe (Fe EDDHA) reduce la absorción de Mn en algunas especies vegetales, por mecanismos de interacción de Fe - Mn que no son bien entendidos. Las concentraciones de Mn en brotes y raíces de cacahuete se redujeron fuertemente al aplicar Fe - EDDHA (Zarahieva, 1993).

La interacción del quelato de Fe (EDDHA) con la temperatura del suelo en la concentración de Mn en la planta fue altamente significativa y refleja que las bajas temperaturas del suelo causan un decrecimiento en la concentración de Mn en la planta solamente cuando el Fe -EDDHA se aplicó (Moraghan, 1986).

El hierro que se encuentra en la solución del suelo tiene una actividad antagónica, en lo que se refiere a la competitividad iónica con el Zn, Co, Cu y Mn, y en suelos con un alto contenido de Ca, el Fe^{+3} tiende a formar $Fe(OH)_3$, insoluble, que precipita (Rodríguez, 1982).

2.6.6. Quelatos de Fe

Son complejos orgánicos solubles de Fe, los cuales pueden provenir de excreciones radicales de la materia orgánica del suelo (ácidos húmicos y fúlvicos), o de microorganismos; también se obtienen de síntesis industrial.

Bohn, (1993) menciona que los quelatos son completamente solubles y tienden a mantener al Fe, Zn y Cu en solución, como fuente de suministro de nutrimentos para las plantas a menos

que un nutrimento sea desplazado del complejo por iones que hay en grandes cantidades o que formen complejos.

Según estudios, los compuestos que han dado mejores resultados son los formados por los ácidos amino carboxílicos en los cuales la quelación se realiza a través de los grupos amínicos y de los grupos ácidos, como: EDTA, HEDTA, DTPA y EDDHA. De todos estos compuestos el más eficaz como suministrador de hierro, es el compuesto férrico del EDDHA (Yúfera, 1973).

El Fe es el microelemento catión más susceptible de alcanzar en el suelo una cierta concentración de metal quelatado y los quelatos tienen una gran estabilidad (Norvell, 1972, citado por André, 1988).

Bohn (1993) refiere que los complejos de Fe – EDTA predominan en suelos ácidos debido a su gran estabilidad en soluciones ácidas, este agente quelatante prefiere el Fe (II y III) incluso en presencia de altas concentraciones de Ca y Mg.

En suelos alcalinos, el quelato con mejores resultados es el complejo formado por el Fe y el ácido etilendiamino di - (hidroxifenil acético) [EDDHA], el cual se utiliza en pulverizaciones foliares al 0.1 % y por aplicación al suelo a razón de 10 - 25 g por árbol en cítricos (Yúfera, 1973). El agente quelatante EDDHA es selectivo para Fe^{3+} , y los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} no compiten con Fe^{3+} .

La estabilidad de los quelatos depende en gran medida de el pH del suelo. El EDTA forma quelato de Fe a pH 6.3; el DTPA hasta pH 7.5; el HEDTA Fe domina de pH 4.8 a 6.7. La presencia de otros cationes limita la quelación del Fe; para EDTA el quelato de calcio domina a pH 6.8; el Ca DTPA domina por encima de pH 7.5; el HEDTA Ca a pH 6.7 a 9 y los quelatos de Al dominan de pH 4 a 4.8 (Yúfera, 1973).

Los secuestradores químicos son compuestos que poseen la propiedad de formar sales con los iones metálicos, en la que éstos están sujetos por varios enlaces de coordinación, formando moléculas estables llamadas quelatos. Al añadir un secuestrador adecuado a una solución de un determinado ion metálico desaparecen las propiedades iónicas que lo caracterizan y aunque siga en solución no reacciona con la mayoría de los reactivos que se utilizan para identificarlo, esto quiere decir que el producto está “secuestrado”.

El ion metálico se encuentra unido por dos o más enlaces que forma junto con el agente quelatante una estructura en forma de anillo.

En suelos alcalinos los iones metálicos, sobre todo, precipitan y no son asimilables por los cultivos, mostrando deficiencia, la aplicación de quelatos permite corregir estas carencias, por vía foliar es más efectivo aplicar quelatos que en forma de sales inorgánicas (Tisdale y Nielsen, 1987).

El agente quelatante más eficaz como suministrador de hierro a las plantas en el EDDHA. En suelos alcalinos el quelato que suele dar mejores resultados es el Fe - EDDHA. Los quelatos que poseen mayor constante de estabilidad son más eficaces para aportar su ion metálico a las plantas, el EDDHA-Fe, tiene una constante de estabilidad muy alta, es efectivo incluso cuando se aplica en suelos básicos (Yúfera, 1973)

Efectos secundarios de los quelatos

- a. Los del tipo EDDHA Y EDTA aumentan rendimiento debido a su poder suministrador de micronutrientes.

- b. Provoca deficiencia o eliminación de toxicidad de manganeso.
- c. Forma quelatos de otros iones metálicos, y por lo tanto precipitación del hierro en forma de hidróxido férrico (Yúfera, 1973)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Área de Estudio

La parte experimental del presente trabajo de investigación se realizó durante el ciclo primavera – verano, en el rancho "El Bayonero", Mpio. de Arteaga, Coahuila, ubicado en los 25°13'53" de Latitud Norte y 100°47'45" longitud Oeste del meridiano de Greenwich a una altitud de 2,040 msnm (CETENAL, 1977). El Rancho "El Bayonero" se ubica al Sudeste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, a 42 km sobre la carretera 57.

3.2. Descripción del Sitio Experimental

3.2.1. Condiciones Climáticas

El clima de la región, según la clasificación de Köppen, modificada por García es BS1Kx'(e'), que corresponde a semiseco templado y extremo. La temperatura promedio anual es de 14.3°C, la media máxima es de 23.6°C y la media mínima es de 4.9°C.

La precipitación media anual es de 434 mm; el 69 % de las precipitaciones ocurre de mayo a octubre, y el 31% restante en los meses de enero a abril y de noviembre a diciembre.

Los datos climatológicos correspondientes al ciclo primavera – verano de 1997, que se presentan a continuación, fueron proporcionados por personal del Depto. de Agrometeorología de la UAAAN y corresponden a la estación meteorológica, ubicada

en el ejido Emiliano Zapata, Mpio. de Arteaga, Coah. que se encuentra a menos de un kilómetro del sitio experimental.

Cuadro 3.1. Datos climatológicos del periodo mayo a junio de 1997, en la Estación Emiliano Zapata, de la UAAAN.

	mayo	junio	julio	agosto	septiembre
Temperatura máxima, °C	32.0	37.0	34.0	29.0	29.0
Temperatura media, °C	17.1	13.5	19.1	11.6	9.3
Temperatura mínima, °C	2.0	5.0	9.0	0	0
Lluvia total, mm	73.0	55.6	95.8	13.5	43.1
Lluvia máxima, mm	25.0	11.4	25.2	5.3	17.4
Evaporación máxima, mm	11.06	10.7	10.08	13.83	13.53
Evaporación total, mm	111.83	117.75	81.86	114.77	87.64

3.2.2. Suelos

Los tipos de suelos presentes en la región del rancho El Bayonero son de origen aluvial. El suelo del sitio experimental corresponde al tipo Xerosol cálcico y es de textura fina (CETENAL 1977). Este tipo de suelos son propios de zonas áridas y presentan un contenido moderado de materia orgánica.

El análisis de muestras de suelos tomados del lote experimental, previo al establecimiento del experimento, se presenta en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Características físicas y químicas del suelo del área experimental.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
Característica determinada	Valor	Método empleado
Contenido de arena, %	15.0	Hidrómetro de Bouyoucos
Contenido de limo, %	48.4	Hidrómetro de Bouyoucos
Contenido de arcilla, %	36.6	Hidrómetro de Bouyoucos
Clase textural		Triángulo de texturas
Densidad aparente, g cm ⁻³	1.02	Método de la probeta
Densidad de sólidos, g cm ⁻³	2.89	Método del picnómetro
Capacidad de campo, %	0.3692	Calculada
Punto marchit. Permanente, cm ³ cm ⁻³	0.2037	Calculada
Humedad aprovechable, cm ³ cm ⁻³	0.1655	Calculada
Saturación, cm ³ cm ⁻³	0.5206	Calculada
Conductividad hidráulica, cm hr ⁻¹	0.3514	Calculada

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS		
Característica determinada	Valor	Método empleado
Contenido de nitrógeno, %	0.2307	Método de Kjeldhal
Contenido de fósforo, kg ha ⁻¹	41.34	Método de Olsen
Contenido de potasio, kg ha ⁻¹	619.87	Cobaltinitrito
Reacción del suelo (pH)	7.5	Electrométrico
Conductividad eléctrica, dS m ⁻¹	0.70	Puente de Wheatstone
Contenido de materia orgánica, %	3.6	Walkley y Black

3.3. Materiales utilizados

3.3.1. Características del material vegetativo

Se utilizó en este experimento la variedad Mondial de papa y la semilla tubérculo correspondió a la categoría segunda, que mide entre 55 a 65 mm; el origen de la semilla fue la sierra de Arteaga, y ésta no presentaba ningún problema de sanidad.

Las plantas de la variedad Mondial presentan tallos predominantemente verdes, muy numerosos, gruesos y ramosos; el follaje es de desarrollo rápido, más tarde alto y erguido. Las hojas son grandes y anchas, muy flexibles, de color verde oscuro, con nervios profundos, su contenido de materia seca es de muy bajo a mediano. Su floración es abundante, con inflorescencias grandes, de color blanco. Produce tubérculos de tamaño grande, de forma oval alargada, cutícula amarilla y lisa, carne amarilla clara, ojos superficiales, poco sensibles a “azulado”. Su maduración es tardía o muy tardía y produce brotes alargados en forma de cilindro largo color rojo morado pálido, bastante piloso. Sensible a *Phytophthora* de la hoja, poco a la del tubérculo, muy resistente al virus A y a la sarna verrugosa, resistente al patotipo A del nemátodo dorado. Posee calidad culinaria algo harinosa, de color puro (INIFAP, 1997).

3.3.2. Productos utilizados en los tratamientos del experimento

3.3.2.1. Sustancias Húmicas

Humablend. Es una mezcla de productos de origen vegetal, los cuales son procesados e incrementados para proveer una mezcla de abonos orgánicos nutritivos.

Su composición es la siguiente:

Composición	% Peso	Composición	% Peso
-------------	--------	-------------	--------

Nitrógeno total	2.23	Ingredientes inertes	2.58
Fósforo total	0.22	Humedad	15.46
Potasio total	16.74	Humatos	61.77
Hierro	1.0		

Humi-K. Es un bioactivador vegetal orgánico basado en sustancias húmicas y fúlvicas y está diseñado para mejorar el crecimiento y desarrollo de raíz y de la planta en general. Su composición es la siguiente:

Composición	% Peso
Acido Húmico	48.27
Acido Fúlvico	41.73
Potasio	9.0
Acondicionadores	1.0

3.2.2.3. Quelatos

Maxiquel Fe 190 EDDHA. Fertilizante quelatado a base de EDDHA (Etilen diamina, dihidroxifenil ácido acético), que presenta alto rendimiento y estabilidad en pH ácido o alcalino. Su composición es la siguiente:

Composición	% Peso
Fe EDDHA	6.00
EDDHA	19.00
Acondicionadores orgánicos	75.00

3.2.2.4. Mejorador del Suelo

Salko. Mejorador orgánico del suelo que contiene microorganismos y materia orgánica (controla salinidad). Su composición es la siguiente:

Composición	%Peso
Extracto orgánico de rumen, fuente de microorganismos	2.36
Nutrimento (S, 2370 ppm; Fe, 23.7 ppm; Zn, 355 ppm; Mn 35.5 ppm; B 105.5 ppm ; Cu 23.7 ppm; Mg 23.7 ppm; N 5444 ppm; Ca, 5000 ppm; P, 539 ppm)	1.36
Extractos orgánicos de origen vegetal	2.36
M.O. de gallinaza	1.18
Acidos húmicos (600 ppm)	0.06
Acidos fúlvicos (500 ppm)	0.05
Agua enzimática	29.58
Acondicionadores y solventes	63.05

3.4. Descripción del Experimento

3.4.1 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para la distribución de los 16 tratamientos, con cuatro repeticiones, siendo así un total de 64 unidades experimentales.

3.4.2 Unidad Experimental

Las parcelas o unidad experimental constan de seis surcos de seis metros de largo cada una. La distancia entre surcos fue de 91 cm.

3.4.3 Diseño de Tratamientos

Los 16 tratamientos resultaron de combinar cuatro dosis del Quelato de Fe, a 0, 2, 4 y 6 kg ha⁻¹ (Factor A), con los tres bioactivadores o mejoradores de suelo (Factor B): Humi-K a 5 kg ha⁻¹, Humablend a 4 kg ha⁻¹ y Salko a 40 L ha⁻¹.

3.4.4 Aplicación de tratamientos

La aplicación de tratamientos se realizó en dos etapas, y se manejaron las siguientes dosis: Quelato de Fe a 0, 2, 4 y 6 kg ha⁻¹ en mezcla con Humi-K y Humablend a 5 y 4 kg ha⁻¹ respectivamente y Salko a 40 L ha⁻¹.

La primera aplicación a las parcelas experimentales, se hizo el día 14 de mayo de 1997 en la etapa de cordoneo, que es cuando las plantas se encuentran bien definidas por encima del surco; se efectuó con una regadera de mano, en la que se disolvieron en 5L de agua por parcela la dosis equivalente a: 2 kg ha⁻¹ de Maxiquel Fe para cada parcela cuyo tratamiento incluía quelato solo o en mezcla con las sustancias húmicas o el mejorador de suelo, los que también se aplicaron solos; se cubrió un ancho de 10 cm sobre la hilera de plantas en cada surco, permitiendo así que se infiltraran los productos utilizados.

La segunda aplicación fue foliar, el día 7 de julio, cuando las plantas tenían más de 60 cm de altura. Se utilizó aspersora manual de mochila y se disolvieron los productos que correspondían a cada parcela experimental y tratamiento en una carga de mochila de 12 L de agua, equivalente a 3,636 L ha⁻¹; los materiales orgánicos, húmicos y mejoradores se aplicaron solos o combinadas con el quelato de Fe a razón de 2 y 4 kg ha⁻¹ de acuerdo al complemento de la primera aplicación, para los tratamientos de 4 y 6 kg ha⁻¹. La aplicación se realizó las primeras horas de la mañana y se bañó completamente el follaje de las plantas.

En el cuadro 3.6 se describen los tratamientos bajo estudio y en la figura 3.1 se presenta un diagrama con la distribución de los mismos.

Cuadro 3.3. Descripción de tratamientos y claves para designarlos.

Tratamiento		Fe	Humi-K	Humablend	Salko
Número	Clave	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	L ha ⁻¹
1	M0	0	0	0	0
2	M2	2	0	0	0

3	M4	4	0	0	0
4	M6	6	0	0	0
5	BM0	0	0	4	0
6	BM2	2	0	4	0
7	BM4	4	0	4	0
8	BM6	6	0	4	0
9	HM0	0	5	0	0
10	HM2	2	5	0	0
11	HM4	4	5	0	0
12	HM6	6	5	0	0
13	SM0	0	0	0	40
14	SM2	2	0	0	40
15	SM4	4	0	0	40
16	SM6	6	0	0	40

Segunda repetición				Tercera repetición			
M0	SM2	HM6	HM2	M6	BM4	M4	BM0
HM0	SM4	M2	BM6	SM2	HM0	SM0	SM6
SM0	M4	SM6	BM4	HM2	SM4	BM6	HM6
BM0	M6	HM4	SM2	M0	BM2	HM4	M2
BM2	M2	M4	SM4	M0	HM0	SM0	BM6
HM4	SM6	HM2	BM6	M4	BM2	BM4	HM6
SM2	BM4	HM6	M6	HM2	M6	SM6	SM2
M0	HM0	SM0	BM0	SM4	M2	HM4	BM0
Primera repetición				Cuarta repetición			

Figura 3.1. Diagrama de distribución de los tratamientos en el campo.

3.5. Manejo del Cultivo

3.5.1. Preparación del Terreno

Las labores realizadas al terreno para prepararlo para la siembra consistieron en un subsuelo el día 18 de marzo de 1997, con la finalidad de romper la capa dura del suelo

conocida como piso de arado, y se utilizó un subsuelo de cincel. El barbecho se hizo el 22 de marzo, un mes anterior a la siembra, con un arado de discos.

Se procedió a dar un riego pesado una semana después del barbecho (29 de marzo), para que brotaran las semillas de malezas existentes en el terreno.

Se realizaron dos rastras, la primera fue el 8 de abril, se dio otro riego el 14 de abril y la segunda rastra al momento de la siembra. En seguida se procedió a hacer los surcos a una distancia de 91 cm entre ellos.

3.5.2. Siembra

La siembra se efectuó el 22 de abril de 1997, en forma manual, depositando un tubérculo aproximadamente cada 22.2 cm, lo que equivale a una densidad de plantas de 49,500 plantas ha⁻¹. Inmediatamente después por medio de una máquina combinada se fumigó, fertilizó y tapó los tubérculos semilla.

La fumigación se realizó bañando al tubérculo con una mezcla de los siguientes productos : Monceren a 7.0 kg ha⁻¹, Rizolex a 2.0 kg ha⁻¹, Benlate a 1.0 kg ha⁻¹, Tecto a 1.0 kg ha⁻¹, Agrimi-Cu a 1.0 kg ha⁻¹ y Raizal a 2.0 kg ha⁻¹. También se aplicó al tubérculo, el insecticida Mocap -10G contra plagas a una dosis de 40 kg ha⁻¹. La fertilización se menciona más adelante, se procedió a cubrir los tubérculos, los cuales quedaron a una profundidad de entre 10 y 15 cm.

3.5.3. Escardas

El primer aporque se realizó el día 8 de mayo y posteriormente se repitió la práctica donde se requirió, generalmente después de un riego pesado.

3.5.4. Control de malezas

Al momento de la escarda, el 8 de mayo se aplicaron 800 ml ha⁻¹ del herbicida Sencor - 480 SC, en 300 L de agua, por medio de aspersora montada al tractor.

3.5.5. Riegos

Los riegos aplicados después del riego de presiembra y su calendarización, se presenta en el siguiente cuadro

3.4. Calendarización de riegos aplicados.

Riego No.	Fecha	Lámina	Riego No.	Fecha	Tipo
1	Abril 23	15 cm	8	Junio 16	15 cm
2	Mayo 2	7.5 cm	9	Junio 25	7.5 cm
3*	Mayo 11	3.5 cm	10	Julio 7	7.5 cm
4	Mayo 17	15 cm	11	Julio 12	7.5 cm
5	Mayo 21	15 cm	12	Julio 28	7.5 cm
6	Mayo 28	3.5 cm	13	Agosto 9	3.5 cm
7	Junio 7	15 cm	14	Agosto 14	1.0 cm

* Riego ligero para incorporar el herbicida aplicado.

3.5.6. Fertilización

Se realizaron cuatro fertilizaciones al cultivo:

La fertilización al momento de la siembra se realizó por medio de una máquina combinada con la mezcla de los productos donde el total utilizado fue de 1845 kg ha⁻¹; los productos utilizados, dosis y unidades aportadas se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 3.5. Descripción de los materiales y dosis utilizados en la fertilización al momento de la siembra

Fertilizante	Dosis	Unidades de					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca O	MgO	SO ₄
Nitrato de Amonio	75	25					
Sulfato de Amonio	357	75					
Fosfato monoamónico	48		25				
Superfosfato simple	875		175				

Sulpomag	340			75		37.5	
Sulfato de Potasio	150			75			
Total de mezcla	1845						

En la segunda fertilización, el 4 de junio, se aplicaron 1300 kg ha⁻¹ de la mezcla descrita. Se aplicaron 15 kg ha⁻¹ de nitrato de calcio y de nitrato de potasio en el agua de riego del día 12 de julio y se repitió la aplicación del día 28 de julio.

3.5.7. Control de Plagas y enfermedades

A lo largo del cultivo se realizaron 12 aplicaciones de parasitocidas, que se iniciaron con la fumigación al tubérculo al momento de la siembra, con el fin de ayudar al cultivo a repeler el ataque de plagas y enfermedades; todas las aplicaciones se hicieron por medio de avioneta, disolviendo los productos correspondientes en 70 L ha⁻¹ de agua.

Cuadro 3.6. Productos agroquímicos aplicados y sus fechas de aplicación.

Fechas de aplicación	Productos aplicados
	Curzate 2 kg ha ⁻¹ , Manzate 3 kg ha ⁻¹ , Tecto 0.5 kg ha ⁻¹ , Terra Cu 0.4 kg ha ⁻¹ y el insecticida Thionex a 1.5 L ha ⁻¹ . Para reparar daño por granizo
29 de mayo	Citokim 0.5 L ha ⁻¹ , Manzate 3 kg ha ⁻¹ , Nutrileaf 3 kg ha ⁻¹ , Terra Cu 0.4 kg ha ⁻¹ y el adherente Nufilm a 0.3 L ha ⁻¹ .
5 de junio	0.1 kg ha ⁻¹ del complejo hormonal Organol, 1.0 L ha ⁻¹ de K – tionic.
17 de junio	Curzate 3 kg ha ⁻¹ , Manzate 3 kg ha ⁻¹ , Terra Cu 0.16 kg ha ⁻¹ , Metamidofos a 2 L ha ⁻¹ y Nufilm a 0.3 L ha ⁻¹ .

24 de junio	Manzate 3 kg ha ⁻¹ , Ridomil Bravo 1.0 kg ha ⁻¹ , Ricoil 1.0 kg ha ⁻¹ , Acrobat 0.25 kg ha ⁻¹ , Metamidofos 2.0 L ha ⁻¹ , Terra Cu 0.4 kg ha ⁻¹ y Nufilm 0.3 L ha ⁻¹ .
4 de julio	Manzate 3 kg ha ⁻¹ , Superfos 2 kg ha ⁻¹ , K-tionic 1.0 L ha ⁻¹ , Metamidofos 1.0 L ha ⁻¹ , Agrosulfan 1.0 L ha ⁻¹ , Terra Cu 0.2 kg ha ⁻¹ y Nufilm a 0.3 L ha ⁻¹ .
11 de julio	Ridomil Bravo 2.5 kg ha ⁻¹ , Farbicina 0.5 kg ha ⁻¹ , Manzate 4 kg ha ⁻¹ , Agrosulfan 1 L ha ⁻¹ , Metamidofos 1 L ha ⁻¹ y Nufilm 0.3 L ha ⁻¹ .
23 de julio	Manzate 5 kg ha ⁻¹ , Aliette 2.5 kg ha ⁻¹ , Farbicina 0.5 kg ha ⁻¹ y Nufilm 0.3 L ha ⁻¹ .
30 de julio	Manzate 5 kg ha ⁻¹ , Farbicina 0.5 kg ha ⁻¹ , Superfos 2 kg ha ⁻¹ , Metamidofos 1 kg ha ⁻¹ , Agrosulfan 1 L ha ⁻¹ , Cytokin 0.4 L ha ⁻¹ y Nufilm 0.3 kg ha ⁻¹
6 de agosto	Manzate a 5 kg ha ⁻¹ , Acrobat a 2.5 kg ha ⁻¹ , Terra Cu a 0.16 kg ha ⁻¹ y Nufilm a 0.3 L ha ⁻¹
13 de agosto	Manzate 5 kg ha ⁻¹ , Sedric 3.5 L ha ⁻¹ , Metamidofos 1 L ha ⁻¹ , Agrosulfan 1 L ha ⁻¹ , Terra Cu 0.3 kg ha ⁻¹ y Nufilm 0.3 L ha ⁻¹
8 de septiembre	Gusation a una dosis de 1.8 kg ha ⁻¹ , para proteger al tubérculo contra la palomilla

3.5.8. Desvare

El 2 de septiembre se aplicó 5 L ha⁻¹ de Reglone y 3 kg ha⁻¹ de Urea, como desecante, previo al desvare y se dejó que el follaje del cultivo se secase para cosechar.

3.5.9 Cosecha

La cosecha se llevó a cabo el 22 de septiembre, con cosechadora mecánica de dos surcos; se cosecharon los dos surcos centrales o parcela útil de cada tratamiento; los tubérculos cosechados se separaron por categorías (primeras, segundas, terceras y resto) y se colocaron en arpilleras.

3.6. Variables evaluadas

3.6.1. Suelo

Para determinar algunas características químicas del suelo se tomaron muestras de suelo del estrato 0 – 25 cm, con una pala recta; las muestras se depositaron en bolsas de polietileno y se trasladaron al laboratorio de Física de suelos de la UAAAN donde se hicieron los análisis correspondientes. El análisis físico del suelo se realizó únicamente a la muestra general, para caracterizar el área experimental, y la muestra compuesta se tomó de los surcos centrales de cada repetición. Para las demás determinaciones se tomó una muestra de suelo por tratamiento de cada repetición en campo, de las cuales se hizo una sola mezcla.

Contenido de materia orgánica (M.O). Para estimar la materia orgánica del suelo se utilizó el método de Walkley y Black el cual recupera 70 – 84 % del carbono orgánico total.

Reacción del suelo (pH). Para su determinación se usó el método electrométrico, que mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones H⁺ (electrodo de vidrio) presentes en un suelo problema.

Conductividad eléctrica (CE). Se determinó por el método del puente de Wheatstone. En esta medición se aplica un voltaje de alta frecuencia alterna por medio de un conductímetro a 2 electrodos colocados a una distancia fija con una muestra de líquido entre ellos. La resistencia la registra el conductímetro y se reporta en dS m⁻¹.

Nitrógeno total (NT). La determinación del NT se hizo por el Procedimiento de Kjeldhal que consta de 2 pasos: la digestión de la muestra y la evaluación del amonio.

3.6.2. Variables en Planta

Para evaluar las características de las plantas, se seleccionó una planta representativa por tratamiento, la cual se extrajo cuidando de no desprender ningún tubérculo para hacer una estimación del rendimiento a 80 días de la siembra y se trasladaron al laboratorio en bolsas de plástico.

Longitud de tallos. La evaluación de longitud de tallos se realizó los días 9 y 10 de julio, midiendo cada tallo de las plantas extraídas, de la base hasta el punto terminal, y se obtuvo el valor promedio por planta.

Número de tallos por planta. Se tomó una planta representativa por tratamiento y se contó el número de tallos presentes.

Número de Tubérculos. De la planta representativa por tratamiento se cuantificó el número de tubérculos por planta.

Diámetro de tubérculos. Se midieron los diámetros polar y ecuatorial de tubérculos por medio de un vernier, con el fin de determinar las dimensiones de cada tubérculo de las plantas extraídas.

Peso de tubérculos. Los tubérculos extraídos por planta se limpiaron a mano para quitarles el suelo pegado y posteriormente se registró su peso por planta.

Contenido de humedad en tubérculos. Se tomó un tubérculo al azar de cada planta y se pesó en fresco y luego se secó a la estufa por 72 horas a 70°C; se dejó enfriar, se tomó su peso en seco y con estos datos se calculó su contenido de humedad.

Presencia de hojas cloróticas. De cada una de las plantas extraídas por tratamiento se contabilizaron las hojas con aspecto amarillento.

Rendimiento de tubérculos. Se cosecharon los dos surcos centrales de cada parcela experimental, clasificándose por categorías, se procedió a pesarlos para estimar el rendimiento por hectárea de cada una de ellas y posteriormente obtener el rendimiento total promedio de las cuatro repeticiones.

