

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación de Tres Calibres de Semilla, para Producción de Semilla de Papa (*Solanum tuberosum L.*) Cv. Orquesta, Bajo Condiciones de Temporal en Oyameles Tlatlauquitepec, Puebla

Por:

ALAN URIEL HERNÁNDEZ GODOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Tres Calibres de Semilla, para Producción de Semilla de
Papa (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Orquesta, Bajo Condiciones de
Temporal en Oyameles Tlatlauquitepec, Puebla

Por:

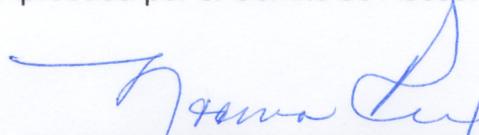
ALAN URIEL HERNÁNDEZ GODOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

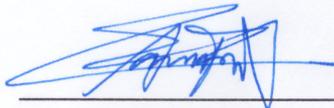
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Norma Angélica Ruíz Torres

Asesor Principal



Dr. Antonio Flores Naveda

Coasesor



Dr. Josué Israel García López

Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México



Noviembre, 2021

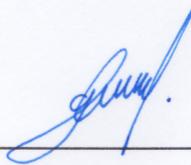
Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta decir verdad que se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante



Alan Uriel Hernández Godos

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por ser el creador de la vida quien nos llena de bendiciones y oportunidades para encontrar el camino para realizar nuestros sueños, dando fortaleza en momentos difíciles y enseñando a ser pacientes para enfrentar el día a día llenos de esperanza para salir adelante además de darnos salud y trabajo.

Le agradezco infinitamente a la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, mi Alma Mater por la infinidad de oportunidades, vivencias, experiencias y conocimientos adquiridos en sus instalaciones, pero además por todo lo que me brindó durante mi estancia y el gran sentimiento que generó en mí, por ser mi casa.

Agradezco a **mis padres** que con mucho esfuerzo y sacrificio me apoyaron incondicionalmente durante mi formación.

A mis **profesores** de cada una de las materias cursadas, por otorgarme conocimiento, criterio e inquietudes las cuales me ayudaron en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres** por otorgarme la oportunidad de realizar este proyecto y recurrir a sus conocimientos técnicos científicos para guiarme durante el tiempo de realización del proyecto.

A mis coasesores de tesis **Dr. Antonio Flores Naveda y Dr. Josué Israel García López**, por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

A agrícola **Agrobeph**, y al **Sr. Juan Manuel Pérez Carmona** por facilitar los datos obtenidos en campo, para la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A mi padre **José Federico Hernández Huerta** por apoyarnos a mí y mis hermanos en todo momento y darnos el ejemplo de ser buenas personas y solidarias, por los consejos y enseñanzas e inculcarnos el trabajo.

A mi madre **Guillermina Godos Crespo** como agradecimiento a todo el apoyo y amor que me brindó y por enseñarnos a trabajar por los sueños y todo lo que queremos y darnos una formación independiente desde pequeños para salir adelante.

A mis hermanos **Omar y Yahir Hernández Godos** por todo su apoyo durante esta etapa y siempre que necesito de ustedes. Por ser buenos hermanos y saber que en cualquier momento cuento con ustedes.

A mis primos **Aldo y Toño Camacho Godos** por inculcarme desde niño el trabajo del campo y enseñarme a salir adelante, por los consejos, las enseñanzas y la confianza, por lo cual me interese más en esta profesión.

A mi novia **María Guadalupe García**, quien estuvo conmigo desde el día que partí del pueblo hasta lograr este objetivo, por su apoyo, comprensión y cariño.

A **mi familia** por el apoyo y cariño, a mis abuelos por darme sus apellidos, tíos, primos, sobrinos, gracias.

A mis **Amigos y Compañeros** con los que llegué a ser compañero de clases y compañeros de trabajo, donde siempre hubo una buena plática, convivencia y por los momentos compartidos, además los cuales me apoyaron y con quienes trabajé y aprendí más cosas que me motivaron a seguir con esto.

ÍNDICE DE CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Generalidades del cultivo de papa.....	3
Clasificación taxonómica	3
Botánica y morfología de la planta.....	4
Parte aérea.....	4
Tallos.....	4
Hojas.....	4
Flores.....	4
Frutos.....	4
Parte subterránea.....	5
Raíz.....	5
Estolones.....	5
Tubérculos.....	5
Rendimiento potencial.....	5
Importancia y usos de la papa.....	6
Valor nutrimental.....	7
Índices de producción y consumo de papa en México	8
Índices de producción en la zona de estudio.....	9

Degeneración de la semilla	9
Producción y mejoramiento de semilla de papa.....	11
Tecnología para la multiplicación de la semilla de papa	11
Reproducción de la semilla.....	13
Reproducción sexual	13
Reproducción asexual	14
Categorías de la semilla-tubérculo	14
Básica.....	15
Registrada.....	15
Certificada.....	15
Producción de plantas in vitro y plántulas	16
Importancia	16
Producción de plántulas in vitro	16
Principales plagas.....	18
Paratrioza.....	18
Palomilla de la papa.....	18
Gusano blanco	19
Minador de la hoja.....	19
Pulgones... ..	20
Mosca blanca.....	20
Diabroticas	21
Nematodo dorado.....	21
Nematodo.....	22
Principales enfermedades en el cultivo de papa.....	23
Tizón tardío	23
Tizón temprano.....	24
Costra negra	25
Pierna negra	26

Roña	27
Sarna común	28
Enfermedades de tubérculos almacenados.....	28
Pudrición seca	28
Pudrición blanca.....	29
Fertilización e importancia en el cultivo de papa.....	30
Función de los nutrientes en la planta y su deficiencia.....	31
Nitrógeno (N)	31
Fósforo (P)	32
Potasio (K)	32
Calcio (Ca)	33
Magnesio (Mg).....	33
Azufre (S)	34
Hierro (Fe).....	34
Manganeso (Mg)	35
Zinc (Zn)	35
Cobre (Cu)	35
Boro (B).....	35
Molibdeno (Mo).....	36
MATERIALES Y MÉTODOS	37
Localización del sitio experimental	37
Establecimiento del experimento	38
Características del sitio experimental.....	38
Características del material a utilizar.....	39
Descripción de los paquetes tecnológicos... ..	40
Dosis de fertilización de fondo	41
Distribución de los tratamientos... ..	42
Manejo fitosanitario	43

Parámetros para evaluar.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
CONCLUSIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE CUADROS	PÁGINA
-------------------	--------

Cuadro 1. Niveles de tolerancia para material propagativo de papa, de acuerdo con su categoría.....	12
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos para cada paquete tecnológico.....	40
Cuadro 3. Descripción de fuentes evaluadas de fertilizantes.....	41
Cuadro 4. Descripción de los tratamientos evaluados.....	42
Cuadro 5. Descripción de los materiales insecticidas, fungicidas y bactericidas implementados en cada aplicación para el manejo fitosanitario en la producción de semillas de papa (Var. Orquesta).....	43
Cuadro 6. Clasificación de tubérculos por calibres... ..	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del rendimiento de cada uno de los tratamientos, equivalente a toneladas por hectárea, en base a las toneladas cosechadas reales.....	48
Figura 2. Rendimiento por calibres en el tratamiento 1.....	50
Figura 3. Rendimiento por calibres en el tratamiento 2.....	51
Figura 4. Rendimiento por calibres en el tratamiento 3.....	52
Figura 5. Rendimiento por calibres en el tratamiento 4.....	53
Figura 6. Rendimiento por calibres en el tratamiento 5.....	54

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Agrícola AGROBEPH, en la comunidad de Oyameles, Tlatlauquitepec, Puebla. En un lote comercial para la producción de papa, llamado “El Valle”, con 5 hectáreas de superficie. El objetivo de la evaluación fue determinar el mejor calibre de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. Orquesta, bajo tres paquetes tecnológicos de siembra distintos y dos mezclas de fertilizante a la siembra, seleccionando el tratamiento con el mayor porcentaje óptimo para semilla y el rendimiento por hectárea. Donde se pudo observar una alta diferencia entre los tratamientos, siendo los tratamientos 3 y 5 los mejores, donde a pesar de diferir en el paquete de siembra y tamaño de semilla el T5 sobresale por arriba del T3 con 300 kg ha^{-1} . La respuesta diferencial en el rendimiento, de acuerdo con los calibres de la semilla y a los tratamientos aplicados se tribuye, a lo mencionado por Rocha y Quijano (2015), quienes indican que la densidad en calibres 3^{eras} es de 6 a 6.5 tubérculos-semilla por metro, en comparación a la densidad de calibres 2^{das}, donde la densidad por metro es de 4.5 a 5 tubérculos-semillas, puede explicar el aumento en el rendimiento de acuerdo con los tratamientos, debido principalmente a los componentes de rendimiento; (tubérculos por tallo o tubérculos por planta). El rendimiento obtenido para los tratamientos 3, 4 y 5 resultó similar, por lo cual, se debe considerar que el precio y las toneladas necesarias por hectárea serán mayores al implementar calibres 2^{das} como semilla-tubérculo, observado esto, resulta más efectivo el uso de semillas 3^{eras}, además de que es más fácil su manejo en almacenamiento y siembra, en comparación con los calibres grandes. Los paquetes tecnológicos 1 y 2 presentaron los mejores resultados considerando el objetivo de la producción. La fertilización que sobresalió fue la mezcla Agrys 12-20-15, la cual demostró que es necesaria la implementación de un análisis de fertilidad.

Palabras clave: papa, rendimiento, calibre, tubérculo, semilla.

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es la planta dicotiledónea más importante como fuente de alimentación humana por su alto valor nutritivo, a nivel mundial ocupa el quinto lugar por su superficie sembrada, superada por: trigo, arroz, maíz, y cebada. La papa fue introducida a Europa en 1580, procedente de América, siendo después diseminada por todo el mundo. Seleccionada y mejorada por los países desarrollados, la papa regresó a donde se originó, condicionando a muchos países a importar material de siembra (semillas), y en consecuencia a depender de ellos, este rubro ha recibido constantemente la influencia de los avances técnicos y científicos, lo que ha permitido mejorarla genéticamente en aspectos de rendimiento, calidad, manejo de cultivo, conservación, industrialización y resistencia a plagas y enfermedades.

Uno de los mayores problemas de los productores de papa lo constituye el acceso a la semilla certificada, debido a su importación y precio, lo que condiciona a los productores a utilizar semilla de papa de mala calidad o tubérculos de consumo en fresco en las épocas que no hay disponibilidad, con riesgo a contaminar sus suelos con enfermedades y plagas, debido principalmente a la monopolización histórica de la producción y venta de semilla de solo algunos grandes productores. Esto ha provocado una estacionalidad de producción en algunas zonas por lo cual la mayoría de los productores cosechan en el mismo periodo de tiempo generando así la caída de la estabilidad de los precios.

La producción de papa es de los pocos cultivos comerciales que se han establecido en la sierra norte del estado de Puebla, debido a la topografía con la que ahí se cuenta, además de la oferta edafoclimática que se presenta en la zona, ideales para la producción del cultivo de papa, sin embargo, por los altos costos de producción y al ser un cultivo con un valor inestable, impide que los productores puedan implementar el uso de semillas certificadas y mantener un programa fitosanitario riguroso constantemente que evite la degeneración de su semilla, lo cual tiene repercusión en la calidad y rendimientos promedio del cultivo.

OBJETIVOS

1. Determinar el mejor calibre de semilla básica, para la zona de Oyameles Tlatlauquitepec, Puebla.
2. Evaluar la respuesta a dos fórmulas de fertilización de fondo, en cuanto a rendimientos y el porcentaje de calibres óptimos para semilla.
3. Obtener el mejor tratamiento de tres paquetes tecnológicos evaluados en la siembra del cultivo de papa, bajo condiciones de temporal en Oyameles Tlatlauquitepec, Puebla.

HIPÓTESIS

1. El uso de distintos calibres de semilla básica influirá en el rendimiento del cultivo de papa, en la zona de Oyameles, Tlatlauquitepec, Puebla.
2. La fórmula elaborada por el productor incrementará el rendimiento y el porcentaje de calibres óptimos para semilla.
3. La implementación de diferentes paquetes tecnológicos en la siembra del cultivo de papa, influye directamente en el desarrollo, rendimiento, calidad, y calibres, en condiciones de temporal, en Oyameles Tlatlauquitepec, Puebla.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de papa.

La papa es originaria de la zona andina, el género *Solanum* incluye alrededor de 1000 especies distribuidas en el mundo, las cuales en su mayoría se encuentran distribuidas en América del Sur, pero prácticamente se cultiva en todo el mundo, no obstante, la región central de México es considerada como centro de origen de especies silvestres, entre ellas la papa, que se caracteriza por tener resistencia a plagas y enfermedades. El centro de mayor variabilidad de estas especies es en el corazón de los Andes (Perú y Bolivia), donde se han colectado más de 100 especies y se conocen más de 400 cultivares de papas andinas. En 1596, el botánico Luiz Gaspond Baukin, le dio el nombre de *Solanum tuberosum*. El término *Solanum* se deriva del latín *salanem*, que quiere decir “calmante” (Rocha y Quijano, 2015).

Clasificación taxonómica

De acuerdo con Báez (1983).

Reino*Plantae*
Subreino..... *Embryobionta*
División..... *Spermatophyta*
Clase*Angiospermae*
Subclase *Dicotyledonae*
Orden..... *Tubuliferas*
Familia..... *Solanaceae*
Subfamilia *Solanoideae*
Género *Solanum*
Especie..... *tuberosum*

Botánica y morfología de la planta

Larios *et al.* (2013) describen que la papa es una planta con metabolismo tipo C3, herbácea, dicotiledónea y perenne por sus tubérculos, pero cultivada comúnmente como planta anual. Se distingue por proveer de un sistema aéreo y otro subterráneo.

Parte aérea.

Tallos. Se originan a partir de las yemas presentes en el tubérculo utilizado como semilla. Se definen tres tipos de tallos: uno aéreo, herbáceo, grueso y fuerte. Son de forma cilíndricas y angulosas con entrenudos y brotes axilares que sirven de sostén para hojas, flores y frutos. El corte transversal es hueco y triangular, con un promedio de 0.5 a 1 m de altura; los otros dos tipos son subterráneos: rizomas y tubérculos.

Hojas. Son compuestas, de forma lanceolada, con siete o más folíolos, pueden ser primarios, secundarios o intercalares, el tamaño es de acuerdo con el genotipo y carácter varietal. Están constituidas por el peciolo y los folíolos insertados por pares en el raquis que termina en un folíolo único. Presenta nervaduras de tipo reticulado, en la axila de cada hoja hay una yema axilar y presenta tricomas en la superficie.

Flores. Las flores de la papa son bisexuales, y poseen las cuatro partes esenciales de una flor: cáliz, corola, estambres y pistilo. Los estambres son el órgano masculino llamado androceo, y el pistilo es el órgano femenino llamado gineceo. La corola puede ser de color blanco, azul, violeta, rojo, bicolor, etc., sostenida por el pedúnculo.

Fruto. Es una baya que puede ser redonda, alargada, ovalada o cónica, de 1 a 3 cm de diámetro, su color varía de un color verde, amarillento, castaño rojizo a violeta. Las bayas están compuestas de dos lóculos que tienen de 200 a 400 semillas pequeñas, aplanadas y cubiertas por una pulpa. Los frutos se presentan agrupados en racimos terminales.

Parte subterránea

Raíces. Son de tipo adventicio, que crecen a partir de los entrenudos del tallo y estolones, pero también crecen directamente de los tubérculos. Presentan un sinnúmero de raíces secundarias fibrosas, muy ramificadas, finas y largas.

Estolones. Son tallos laterales que crecen de los entrenudos, generalmente de forma horizontal bajo la superficie del suelo. En el extremo distal se engrosa y genera un tubérculo.

Tubérculos. Son una parte del estolón, adaptados para el almacenamiento de reservas. Su forma puede ser redonda, ovalada, cilíndrica, alargada, etc. Presenta externamente yemas y a medida que se desarrollan se forman los brotes. Tanto el color de la piel como el de la pulpa es variable dependiendo del genotipo y variedad.

Rendimiento potencial

Rocha y Quijano (2015) mencionan que se denomina rendimiento potencial al rendimiento teórico que tendría un cultivo bajo condiciones óptimas de producción, es decir sin limitaciones de humedad, nutrientes y en ausencia de plagas, enfermedades o maleza. El rendimiento potencial es tomado como teórico porque en la realidad es sumamente difícil lograr y mantener una condición óptima para el crecimiento de los cultivos.

El rendimiento potencial está determinado por la disponibilidad de energía, el régimen de temperatura y la variedad. Esto significa que el rendimiento potencial no es fijo, sino que depende del genotipo, la localidad y de la fecha de siembra; incluso para una misma combinación de estas variables, puede cambiar de un año al otro, en respuesta a la variación interanual del clima.

El nivel de rendimiento alcanzable corresponde a aquél que está limitado por la disponibilidad de humedad y nutrientes en una región, es decir depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo, entre ellas la fertilidad y capacidad de retención de humedad. El conocer la diferencia entre rendimiento potencial y

alcanzable en una región, permite identificar las limitantes físicas de la producción y diseñar alternativas tecnológicas para incrementar la producción. Las alternativas pueden ser del tipo “productivista”, como la aplicación de fertilizantes sintéticos o la fertirrigación; o del tipo “sustentable”, como la recuperación, conservación y mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo (Rocha y Quijano, 2015).

El rendimiento real depende de otros factores de tipo biológico, como plagas, enfermedades y maleza, los cuales se considera que reducen la producción alcanzable. Es importante conocer y dimensionar la diferencia entre los niveles de rendimiento “alcanzable” y “real” para identificar los organismos que puedan ocasionar. Con esta base se pueden implementar opciones tecnológicas de protección vegetal y también en este caso las alternativas pueden ser del tipo “productivista”, como los esquemas de control de organismos dañinos, o bien del tipo “sustentable”, como los enfoques de manejo integrado, control biológico, etc.

Tomando como ejemplo la zona productora de papa en el estado de Guanajuato, se ha calculado que su rendimiento potencial puede alcanzar las 100 t ha⁻¹, y el rendimiento alcanzable las 80 t ha⁻¹. La magnitud de estas brechas sugiere que, para elevar la media de producción en el estado, es más importante enfocarse en tecnologías para mantener y proteger la producción, que en aquellas para incrementarla. Es conveniente mencionar que en México los patrones de consumo de la papa son obstáculo para llegar al rendimiento alcanzable, pues el tamaño del tubérculo y la calidad que exige el consumidor, no permiten que el cultivo exprese el rendimiento máximo (INIFAP, 2015).

Importancia y usos de la papa

Una de las cualidades más importantes de la papa es que aporta la mayor cantidad de energía en comparación con cualquier otro cultivo. A nivel mundial se consume principalmente en fresco, industrial (Chips), almidones y la alimentación animal.

Los primeros en industrializar este cultivo fueron los nativos de los andes, quienes la secaban al sol y al viento, congelada y disecada, llamado “Chuño”, para su consumo posterior. La papa también se utiliza como materia prima en otras transformaciones industriales, sobre todo a partir del almidón.

En la industria farmacéutica la fécula sirve como excipiente para los comprimidos, y como sustrato de fermentación de glucosa para la síntesis de vitaminas, antibióticos y vacunas. Además, el almidón sometido a tratamientos físicos y químicos permite su empleo en varias ramas de la industria como son; la textil, la producción de papel y sus derivados, etc. (Rocha y Quijano, 2015).

Valor nutrimental

De manera general el tubérculo está compuesto por 77.5% agua y 22.5% de materia seca (carbohidratos 19.4%, proteínas 2%, grasa 0.1% y cenizas 1%). Sin embargo, la composición química del tubérculo está definida por la variedad, condiciones edafológicas, climáticas, técnicas de producción y conservación (Luque, 2009).

La mayor parte de la materia seca está compuesta por almidón, azúcares y polisacáridos. Más del 90% de las proteínas son hidrosolubles y están contenidas en la pulpa. Las proteínas insolubles como albúminas, tuberina, globulinas, prolaminas y gluteninas están contenidas en el periderma.

La papa contiene cantidades significativas de vitamina C (ácido ascórbico y dehidroascorbato), además de otras vitaminas hidrosolubles como tiamina y vitamina B6. Las vitaminas solubles en aceite o liposolubles están presentes en muy pequeñas cantidades.

En algunas industrias alimenticias el almidón se utiliza en forma de dextrina como espesante y estabilizante en helados, sopas, salsas, etc.; o como sustituto de harinas para aligerar las pastas, y en la fabricación de galletas, repostería, pastelería, también para la elaboración de vodka que es alcohol de fécula de papa

Índices de producción y consumo de papa en México

En cuanto a consumo en los países europeos y Estados Unidos se registran altos niveles anuales per cápita, alrededor de 58 a 85 kg por persona, respectivamente. En México aún con el conocimiento de su gran valor alimenticio y a pesar de que se produce todo el año (en 24 estados de la república), el consumo apenas llega a los 14 kg por persona. La superficie cosechada en México para 2019 (SIAP), fue de 58,442 ha, con un rendimiento de un millón 780 mil toneladas, de las cuales el 58% se destinó a consumo fresco, el 25% a la industria procesadora y el 17% se utilizó como tubérculo-semilla (Luque, 2009).

Los indicadores económicos de este cultivo son los siguientes: participan 8 mil 700 productores, que benefician a 20 mil familias y se generan 17 mil 500 empleos directos y 51 mil 600 indirectos. En cuanto a la producción de semilla en el país se cuenta con una superficie de 60 mil m², donde se producen anualmente un total de 25 millones de minitubérculos (CONPAPA, 2017).

Los principales estados productores son: Sonora, Sinaloa, Puebla, Veracruz, Estado de México, Nuevo León, Chihuahua y Baja California Sur, concentrándose en estos más del 75% de la producción (SIAP, 2014). Por superficie sembrada destacan los estados de Sinaloa y Sonora, donde se concentra el 35% de la producción nacional, y por rendimiento sobresalen los estados de Tamaulipas, Guanajuato y Zacatecas, con una media superior a las 38 t ha⁻¹.

Por la diversidad climática, suelos y orografía, el cultivo de papa puede ser sembrado y cosechado durante todo el año, prácticamente desde el nivel del mar en Baja California Sur, Sinaloa y Sonora, hasta altitudes mayores a los 3,000 msnm en el Estado de México, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. En México las zonas con las mejores condiciones edafoclimáticas para la producción de papa se localizan sobre el Sistema Volcánico Transversal, donde destacan el Estado de México, Puebla y Veracruz (Villanueva, 2018).

Índices de producción en la zona de estudio

El estado de Puebla se encuentra entre los cinco principales estados productores de papa a nivel nacional, en donde destaca la zona nororiental comprendiendo desde el municipio de Libres, Zaragoza, Zacapoaxtla, Tlatlauquitepec, Teteles, Atempan y Teziutlán, donde se siembran aproximadamente 8,413 ha, cifra que tiende a duplicarse desde hace 10 años.

El primer productor del cultivo de papa en el estado es el municipio de Tlatlauquitepec con una superficie sembrada de 2,202.24 ha y una producción de 50,591.5 toneladas, con un promedio de 17.18 t ha⁻¹ en los últimos diez años, la producción de este municipio representa el 27.85% del total de la producción estatal (Mejía, 2018).

La producción de papa es de los pocos cultivos comerciales en la Sierra Norte de Puebla debido al relieve accidentado y las condiciones agroclimáticas que ofrece esta zona. Las cuales van de los 1,600 msnm, hasta los 3,400 msnm, con suelos de texturas limosa, francos y franco arenoso, un clima templado húmedo con temperaturas medias de 16° C y una precipitación media de 1,280 mm (CONAGUA, 2015).

Degeneración de la semilla

La degeneración de la semilla consiste en la pérdida de rendimiento o calidad, debido a la acumulación de patógenos o plagas en la semilla, en ciclos sucesivos de propagación vegetativa. Uno de los factores que explica el poco rendimiento en el cultivo de papa es la baja sanidad de la semilla, que se debe en gran medida al fenómeno conocido como degradación. De hecho, si no ocurriera esa degradación, se podría utilizar una determinada semilla en forma indefinida, ya que mantendría su sanidad (Andrade *et al.*, 2015).

Los principales patógenos que causan degeneración a nivel mundial son los virus, pero para las zonas de valles altos hay patógenos importantes para la degeneración, como: *Rhizoctonia solani*, *Spongospora subterranea*, *Streptomyces*

scabies, *Verticillium dahliae*, *Fusarium spp*, *Thecaphora solani*, *Phytophthora erythroseptica*, *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium spp.*, *Meloidogyne spp*, *Globodera spp*, *Nacobbus aberrans*, entre otros (CIP,1996).

En la actualidad, se ha propuesto que el manejo de la degeneración de la semilla se lleve casi exclusivamente mediante la compra de semilla certificada. Sin embargo, en la mayoría de los países con cultivos de propagación vegetativa, como la papa, la adquisición de semilla certificada aún es baja, a pesar de que se han hecho inversiones significativas a lo largo de muchos años.

La estrategia propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP), para pequeños agricultores para el manejo de la degradación de la semilla en cultivos de propagación vegetativa, considera la integración de tres formas, mencionadas en ese orden de importancia.

- **Uso de variedades resistentes**, que implica un fuerte trabajo de evaluación de variedades existentes y de mejoramiento genético para producir variedades resistentes y diseminadas.
- **Manejo de semilla en finca**, que implica reconocer y mejorar los sistemas informales de semilla, a través del fortalecimiento de las capacidades de los agricultores, para que puedan mantener la sanidad de su semilla por más tiempo, mediante técnicas como la selección positiva y el almacenamiento adecuado de la semilla.
- **Compra de semilla sana producida fuera de la finca**, que implica mejorar los sistemas formales de semilla (por ejemplo, una mayor participación del sector privado) para producir y distribuir semilla certificada de alta sanidad, en el momento, cantidad, precio y variedades adecuadas.

En México la NORMA Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, muestra los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos y especificaciones fitosanitarios que debe cumplir el material propagativo asexual de papa en el territorio nacional, para prevenir el establecimiento y diseminación de plagas

cuarentenarias y plagas no cuarentenarias reglamentadas. Se aplica en todo el territorio nacional y está dirigida a las personas físicas o morales que produzcan material propagativo de papa (Diario Oficial de la Federación, 2003).

El Sistema Nacional de Producción, Certificación y Comercio de semillas, a través del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, cuenta con programas de certificación de semillas en los que deben considerarse la condición fitosanitaria de las mismas. En la cuales se realizan inspecciones a los lotes destinados para producción de semilla en el cual se establecen los porcentajes de plagas cuarentenadas y no cuarentenadas que causan daños económicos inaceptables a los productores cuando se encuentran presentes o con altas incidencias en material propagativo los cuales inciden directamente en la degeneración de la semilla de papa, como se muestra en el Cuadro 1.

Producción y mejoramiento de semilla de papa

El proceso de producción de semilla de papa inicia con el cultivo de tejidos vegetales (cultivo *in vitro*), utilizando el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH), y el manejo de plántulas en invernadero, las que serán multiplicadas en campo. Como objetivo se busca el abastecimiento de semilla de papa de calidad que les permita mejorar el rendimiento promedio y calidad del producto (Larios *et al.*, 2013).

Tecnologías para la multiplicación de la semilla de papa

La necesidad de incrementar las tasas de multiplicación de semillas, o de incrementar el número de tubérculos, ha motivado a la creación de los siguientes sistemas de multiplicación (Larios *et al.*, 2013).

- A. Multiplicación *in vitro* mediante técnicas de cultivo de tejidos.
- B. Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH).
- C. Multiplicación de plántulas para obtención de semilla-tubérculo a nivel de casas mallas y otros sistemas de multiplicación masiva (aerponía e hidroponía).
- D. Obtención de semilla artesanal a partir de semilla certificada

Cuadro 1. Niveles de tolerancia para material propagativo de papa, de acuerdo con su categoría correspondiente (NOM-041-FITO-2002).

PLAGAS	CATEGORÍA DE SEMILLA Y NIVELES DE TOLERANCIA EN %				
	B ¹	R1	R2	R3	C
Plagas A1 (Monitoreo)					
PVY ⁿ PVY ^{ntn}	0	0	0	0	0
<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>	0	0	0	0	0
<i>Ralstonia solanacearum</i> raza 3	0	0	0	0	0
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	0	0	0	0	0
Plagas A2					
<i>Globodera rostochiensis</i>	0	0	0	0	0
<i>Meloidogyne chitwoodi</i>	0	0	0	0	0
Plagas no cuarentenarias reglamentadas ²					
PVA	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
PVX	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
PVS	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
PVY Mosaico rugoso	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
PLRV Enrollamiento de la hoja	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
<i>Fusarium</i>	0.0	0.25	0.5	0.75	1.0
<i>Verticillium sp</i>	0.0	0.025	0.03	0.04	0.05
<i>Rhizoctonia</i> ³	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
<i>Streptomyces</i> ^{3 4}	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0
<i>Spongospora</i> ³	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
<i>Phytophthora infestans</i>	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0
<i>Erwinia sp.</i> ²	0.0	0.02	0.05	0.075	0.1
<i>Phthorimaea operculella</i> ²	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0
<i>Epicaerus cognatus</i> ²	0.0	0.02	0.05	0.075	0.1

1. B= Básica= (Primera generación de campo); R1= Registrada (Segunda generación de campo); R2= Registrada (Tercera generación de campo); R3= Registrada 3 (Cuarta generación de campo); C= Certificada = G5 (Quinta generación de campo).

2. La inspección y diagnóstico para plagas no cuarentenarias reglamentadas es visual, excepto para PVY (Apéndice 3).

3. Los porcentajes de infección para estas plagas se cuantifican de acuerdo con los siguientes criterios:

<1% de la superficie del tubérculo afectada (trazas) no se cuantifica.

De 1 a 10% de la superficie del tubérculo afectada. Máxima tolerancia de acuerdo con la tabla.

>10% de la superficie del tubérculo afectada (alto) no hay tolerancia, el lote es rechazado.

4. La infección combinada de *Rhizoctonia*, *Streptomyces* y *Spongospora* no deberá exceder el 5% de tubérculos con un nivel 1 a 10% de la superficie afectada. No deberá exceder el máximo nivel de tolerancia especificado para cada plaga.

e) En caso de cumplir con la norma, el organismo de certificación o la Secretaría a través de la Delegación Estatal extenderá el certificado correspondiente (formato SV-02) y, en su caso, el certificado fitosanitario de movilización nacional.

f) El lote en el cual se detecte plaga no cuarentenaria reglamentada por arriba de las tolerancias especificadas en esta norma, no será elegible para certificación de cumplimiento de norma.

Sistemas más rápidos para la multiplicación de semilla de papa:

- Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH):

Esta técnica consiste en incrementar considerablemente a nivel de laboratorio el número de plantas que serán multiplicadas en invernadero, las que también serán plantas robustas, con cierto grado de aclimatación y fotosintéticamente activas, para esta técnica es indispensable partir de vitroplantas libres de patógenos.

- Cultivo de tejidos

La técnica de cultivo de tejidos es aislar una porción de una planta (explante), y proporcionarle, artificialmente, las condiciones físicas y químicas apropiadas para que las células expresen su potencial intrínseco o inducido. Además, es necesario adoptar procedimientos de asepsia, para mantener los cultivos libres de contaminación microbiana.

- Sistema aeropónico

Basado esencialmente en la multiplicación del tejido, usando como medio el aire y soluciones de fertilizantes asperjadas para la nutrición de las vitro plantas.

- Sistema hidropónico

Basado en la multiplicación del tejido, usando como medio de multiplicación el agua y soluciones de fertilizantes para la nutrición de las plantas.

Reproducción de la semilla

La producción de semilla de papa se puede lograr mediante dos mecanismos: reproducción sexual y asexual.

Reproducción sexual

También conocida como semilla verdadera, o botánica. Consiste en la fertilización del ovario de la flor hasta convertirse en un fruto. Por lo general, éste es de forma esférica, pero algunas variedades producen frutos ovoides, o cónicos, de color verde, denominadas bayas. Su utilización para la producción de papa comercial es mínima, pero representa una tecnología que podría convertirse en una excelente alternativa para aquellos pequeños productores que no tienen posibilidad de acceder a semilla certificada.

El número de semillas por fruto llega a más de 200, según la variedad y otros factores. Este medio de multiplicación, o siembra de semilla verdadera, es conocido a nivel internacional como TPS (true potatoes seed), y es de muy buena aceptación comercial, en especial en países asiáticos como Afganistán, India, Corea del Norte, Vietnam y China, donde se requiere alimentar una gran población, por lo tanto, se usa el tubérculo como alimento y no como semilla (Larios *et al.*, 2013).

Reproducción asexual

Esta reproducción se realiza mediante la semilla-tubérculo. Se clonan tubérculos, o secciones suyas (brotes, meristemos o subdivisiones), y secciones de la planta (esquejes apicales o laterales). Esto puede ser a partir de multiplicación, como: aeroponía, hidroponía o SAH, por lo tanto, su patrón genético no se modifica ni altera después de ciclos reproductivos, porque no hay un cruce de dos individuos que modifiquen su identidad genética. Por lo tanto, su categorización como semilla-tubérculo está determinada por factores exógenos que disminuyen su potencial productivo como: agentes bióticos (virus, hongos, bacterias o micoplasmas), y abióticos (temperatura, humedad o altitud) (Larios *et al.*, 2013).

Categorías de la semilla-tubérculo

SAGARPA (2003) menciona que bajo el esquema de producción de semilla de papa en forma de clones (donde su patrón genético no se modifica ni altera por un cruce de dos individuos), se puede trabajar con plantas puras, como las obtenidas en cultivos *in vitro* con un mínimo de contaminantes en el campo, cuyas exposiciones están reguladas por leyes nacionales e internacionales, con estas regulaciones, la reproducción asexual se divide en diferentes categorías, dependiendo del grado de contaminantes presentes en cada cultivar, y están descritos en la normativa y la NORMA Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002.

Las categorías reconocidas para la producción de semillas en México están descritas en la Regla para la clasificación de semilla de papa (SNICS, 2018). La cual fue desarrollada conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAG/FITO- 2013, en la cual se establecen los criterios y especificaciones que deben cumplir las variedades vegetales, tanto en campo como en laboratorio, para fines de calificación de las semillas y del material de propagación.

Estas categorías son las siguientes:

Básica. La categoría básica es la semilla de primera generación en campo, obtenida por cultivo de tejidos, microtubérculos o de cualquier otro método de propagación.

Básica: Primera generación en campo o en condiciones controladas.

Registrada. Es aquella obtenida de la multiplicación de la categoría básica o de fuentes de semilla, que sin ser básica se propaga por cualquiera de los métodos existentes (selección clonal, selección negativa, selección positiva, micro o minitubérculos, esquejes, etc.) y mantiene los estándares de calidad establecidos por el SNICS para otorgar la certificación.

Registrada 1: Segunda generación en campo.

Registrada 2: Tercera generación en campo.

Registrada 3: Cuarta generación en campo.

Certificada. Semilla producida a partir de la semilla básica o registrada o mediante multiplicación de alguna otra fuente de semilla que a juicio del SNICS cumple los estándares de calidad para otorgarle la certificación.

Certificada: Quinta generación en campo.

La producción de semilla-tubérculo obtenida de una producción comercial y seleccionada por productores a partir de semilla certificada, que haya presentado buenas condiciones fitosanitarias y de rendimiento, es conocida entre los pequeños productores como semilla habilitada.

Producción de plantas *in vitro* y plántulas

Importancia

El objetivo principal de este sistema es producir un material de siembra de alto nivel de calidad fitosanitaria y pureza varietal, para lograrlo el cultivo depende de requerimientos tecnológicos, principalmente porque está expuesto al ataque de organismos fitopatógenos, como hongos, bacterias y virus, siendo estos los últimos los más críticos, porque se perpetúan en la descendencia de los materiales genéticos.

El tubérculo de papa se considera como la semilla unitaria tradicional (asexual), y su calidad refleja las condiciones en que se ha desarrollado el cultivo, incluyendo el estado fitosanitario. La producción de semilla certificada de papa es un proceso que tarda entre 30 y 36 meses, desde la producción de *in vitro* plantas.

La semilla prebásica, producida a partir de las plantas obtenidas en laboratorio, bajo condiciones de invernaderos, es el punto de partida del proceso de producción de semilla de papa, por lo tanto, debe producirse libre de enfermedades que afecten o limiten las subsiguientes multiplicaciones de material de siembra. En los países donde hay imposibilidad de producir este material inicial conlleva a realizar importaciones de semilla, lo que en muchos casos trae consigo el riesgo de introducción y establecimiento de plagas y enfermedades que no se encuentran en la región (Larios *et al.*, 2013).

Producción de plántulas *in vitro*

Andrade, (2015) describe el proceso de producción de plántulas *in vitro*, el cual es desarrollado mediante la ejecución de las siguientes etapas:

A) Selección de material libre de fitopatógenos.

Para realizar la selección del material inicial se debe considerar el lugar de origen, fenotipo, genotipo, estado fisiológico y época de cosecha. Además, se debe considerar el historial de la sanidad del cultivo en lo relacionado al ataque de

hongos, virus, bacterias y otros fitopatógenos, con el objetivo de seleccionar materiales que realmente provengan de lotes de semilla libres de los mismos.

B) Saneamiento de material vegetativo

Una vez seleccionadas las plantas madre, son sometidas a tratamientos, como termoterapia o quimioterapia, que contribuyen a su saneamiento y en especial a la eliminación de virus. El éxito de estas técnicas depende del virus que se quiere eliminar y de la variedad de la papa. El término “plantas libres de virus” es válido sólo cuando se especifica el virus o la enfermedad viral que haya sido detectado usando técnicas virológicas efectivas.

C) Medios de cultivo para la multiplicación de semilla de papa

El medio de cultivo es donde crecen los tejidos de interés. Existen diferentes combinaciones para elaborar soluciones madre que abastecen al tejido vegetal; macroelementos, microelementos, vitaminas, reguladores de crecimiento, fuentes de carbono, hierro EDTA y otros compuestos, de acuerdo con el tipo de medio de cultivo a preparar.

D) Establecimiento del cultivo

Se extraen de la planta madre pequeños segmentos de explantes (sección de hojas, semillas, meristemas, ápices, estacas o brotes), los que antes de ser introducidos en el medio de cultivo, pasan por un proceso de desinfección, usando compuestos como: alcohol al 70%, Tween 20, cloruro de potasio u otros. Esta desinfección se hace en una cámara de flujo laminar, después de la cual se realizan varios lavados con agua estéril. Luego, se procede a la inoculación en el medio de cultivo.

Para la preparación de las plántulas madres, se inicia con plántulas *in vitro* a partir de una planta madre. Para acelerar el proceso es conveniente utilizar plántulas seleccionadas por vigor, buen tamaño de las hojas y fitosanitariamente libre de daños ocasionados por enfermedades o insectos. Normalmente de 100 plántulas *in vitro* se pueden producir hasta 20,000 plántulas, en un periodo de 40 días.

Principales plagas y enfermedades

Los principales patógenos causantes de la degeneración de las semillas de papa son los virus, pero también la acumulación de plagas y enfermedades debido a la propagación en ciclos sucesivos de un material. Estos son factores que delimitan la factibilidad, rendimiento y calidad de la producción de una semilla. A continuación, se presentan las principales plagas que afectan al cultivo (Montesdeoca *et al.* 2013).

Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

Descripción: La paratrioza constituye la plaga más importante en el cultivo de papa, el adulto es saltador y se alimenta de la savia de la planta inyectando una toxina que produce una enfermedad conocida como punta morada (*Psyllid yellows*). El adulto mide 2 mm de largo y tiene aspecto de chicharrita. Los huevecillos son de color amarillo de forma oblonga y son colocados a lo largo de los márgenes de las hojas. Las ninfas son aplanadas de color verdoso, las ninfas pasan por cuatro instares y son las que especialmente succionan la savia. El ciclo biológico dura alrededor de 30 días, la hembra puede poner hasta 500 o 1,000 huevos.

Daños: Los síntomas más importantes en el área foliar son: el encrespamiento y coloración púrpura en los bordes de las hojas apicales, y la formación de tubérculos aéreos a nivel de la base del tallo. En el tubérculo se afecta la calidad para su consumo, ya que aumenta la concentración de azúcares, lo que provoca el rayado de la pulpa y un sabor dulce, conocido como (Cebra Chip).

Condiciones favorables: El desarrollo del ciclo de vida de paratrioza y el tiempo entre cada estadio depende de la temperatura, siendo que entre más alta se acortan los ciclos.

Palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*)

Descripción: Los adultos son polillas de color café que miden cerca de 10 mm de largo y tienen manchas pequeñas en las alas y son de hábitos nocturnos. Las larvas miden de 12 a 15 mm y son de varios colores (rojo, verde y blanco).

Daños: El adulto sólo tiene el hábito de reproducción y oviposición en tubérculos y hojas. Las larvas hacen minas en el tubérculo y hojas y después estas se pudren.

Condiciones favorables: Los climas cálidos y secos con temperaturas mayores a 20 °C, aparecen desde la siembra hasta la cosecha y almacenamiento y la infestación se da a partir de la semilla contaminada o por la migración de adultos provenientes de otros campos infestados.

Gusano blanco (*Premnotrypes vorax*)

Descripción: Los adultos tienen sus cuerpos de color café a gris de 7 mm de largo y 4 mm de ancho, no pueden volar, pero son buenos caminantes. Las larvas son de color blanco cremoso, con la cabeza de color café, miden de 11 a 14 mm de largo y tienen el cuerpo en forma de letra "C". Los huevecillos son cilíndricos ligeramente ovalados con una coloración entre blanco y crema de 1.2 mm de largo y 0.54 mm de ancho.

Daños: El adulto come los filos de las hojas en forma de medialuna y la base del tallo. Los gusanos se alimentan de la pulpa del tubérculo haciendo huecos y galerías.

Condiciones favorables: Presentes en altitudes mayores a los 2,800 msnm, el monocultivo de papa por varios años en el mismo campo, aparecen desde la emergencia hasta la cosecha, con mayor incidencia en la etapa de formación de tubérculos y persisten hasta 90 días después de la cosecha.

Minador de la hoja (*Lyrimoza spp.*)

Descripción: El adulto es una mosca de 3 mm de largo con una coloración amarilla en la mitad de la cabeza y el tórax. Las pupas son cilíndricas y su color varía del amarillo al café midiendo de cerca de 0.5 mm la larva mide 2.5 mm de largo y no tiene patas ni ojos, y los huevecillos son ovalados de color lechoso y translucido miden cerca de 0.15 mm.

Daños: Las larvas hacen túneles en el interior de la hoja, sin dañar la parte externa de la misma, generalmente estos túneles se encuentran a lo largo de las nervaduras. Las hojas dañadas terminan por secarse lo que puede matar a la planta.

Condiciones favorables: El clima cálido, temperaturas entre 21 y 32 °C, la infestación empieza en hojas bajas, los adultos se presentan desde la prefloración hasta la floración.

Pulgones (*Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae*)

Descripción: Los adultos tienen cuerpo en forma de pera y de color verde claro a oscuro, miden de 1.5 mm a 2.5 mm y pueden tener o no tener alas. Las ninfas inicialmente son de coloración verde y luego su coloración se vuelve amarilla, suelen ser ligeramente más pequeños que los adultos. Los huevos son de color negro y brillantes de 0.3 mm a 0.6 mm.

Daños: Los adultos y ninfas se alimentan de las hojas de la planta, sus excretas generan la formación de fumagina lo cual afecta la producción de fotosintatos y son transmisores de virus al alimentarse como PLRV y PVY.

Condiciones favorables: Los climas secos y temperaturas mayores a 20 °C, la plaga se presenta desde la emergencia hasta el almacenamiento. La infestación se da por migración de otros campos o acarreo por el viento.

Mosca blanca (*Bemisia tabaco*)

Descripción: Plaga chupadora que forma colonias en el envés de las hojas. El género *Bemisia* es el más peligroso, los adultos son de color blanco de cerca de 1-1.5 mm con alas en forma de teja. Los huevecillos son de color amarillo de 0.2 mm y las ninfas de color amarillo verdoso, como escamas. La hembra oviposita hasta 300 huevos y el ciclo biológico dura entre 17 y 35 días.

Daños: Produce la formación de fumagina por las excretas, lo cual cubre el área fotosintética mermando el rendimiento y la calidad de frutos. En México no se sabe si es transmisor de virus.

Condiciones favorables: Las altas temperaturas acortan el ciclo biológico.

Diabroticas (*Epitrix spp.* y *Diabrotica spp.*)

Descripción: Los adultos son pequeños escarabajos de 1 a 2 mm de largo de color negro, verde amarillo con un brillo metálico. Los adultos saltan con facilidad sobre el follaje y la presencia de malezas facilita su multiplicación y diseminación. Las larvas, son de color blanco cremoso y miden de 2 a 3 mm de largo.

Daños: Los adultos se alimentan de los brotes tiernos de la planta y los folíolos no abiertos, ocasionando perforaciones circulares que aumentan de tamaño conforme crece la hoja, pueden provocar una desuniformidad en el crecimiento de las plantas. Las larvas atacan a las raíces, estolones y tubérculos en donde se observan pequeñas perforaciones superficiales.

Condiciones favorables: Habitan en todo el periodo vegetativo del cultivo, aunque son más abundantes en prefloración, épocas secas, aunque también en zonas con lluvias abundantes, es más frecuente la presencia en suelos arenosos.

Nematodo dorado (*Globodera spp.*)

Descripción: Son llamados nemátodos del quiste ya que engloban su cuerpo y la hembra madura se transforma en un duro quiste el cual puede contener hasta 500 huevos a diferencia de los nemátodos del género *Meloidogyne*, la hembra del nematodo dorado conserva sus huevos fecundados dentro de su cuerpo. El quiste libera sus larvas en presencia de exudado radicular de la papa u otras plantas solanáceas.

Daños: Los nematodos atacan las raíces y tubérculos de la planta de papa y ésta evidencia el ataque a través de síntomas de deficiencia de agua o de nutrientes, el follaje se torna amarillento y en condiciones de sequía se marchita severamente. La alta población hace que la planta detenga su desarrollo y muera prematuramente afectando severamente el rendimiento.

Condiciones favorables: Las larvas se vuelven activas a 10 °C y la máxima invasión de las raíces ocurre a 16 °C. La diseminación ocurre por movilización de suelo infestado, adherido a tubérculos, envases, maquinaria, etc. Los huevos enquistados toleran la desecación y pueden sobrevivir 20 años o más.

Nematodo (*Meloidogyne spp.*)

Descripción: El organismo es de amplia distribución y con un rango de huéspedes bastante amplio, atacando a especies de solanáceas, fabáceas y también árboles frutales. Ambos adultos presentan dimorfismo sexual, los machos conservan su forma vermiforme y las hembras adquieren una forma globosa (pera). Las hembras son consideradas endoparásita sedentaria y en ese estado es fecundada por los machos, que mantienen su condición de vida libre.

Daños: La sintomatología aérea no es suficientemente específica, lo más notorio son las deformaciones de tubérculos infectados que presentan protuberancias y agallas que les dan apariencia verrucosa.

Condiciones favorables: Los nematodos comienzan su ciclo de vida como huevo, dentro del cual ocurre una muda, formándose un juvenil de segundo estadio. El cual es considerado infectivo, estos juveniles son los encargados de buscar un hospedero, una vez detectado, penetran a los tejidos de raíces y estolones y se mueven intracelularmente, ubicándose cerca de los haces vasculares, ahí establecen su sitio de alimentación.

Principales enfermedades en el cultivo de papa

La producción de papa está influenciada por numerosos factores ambientales, los cuales pueden aportar las condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus por que pueden estar afectando el desarrollo óptimo del cultivo. A continuación, se describen las principales enfermedades limitantes en el cultivo de papa (Torres, 2002).

Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Descripción: El tizón tardío de la papa, es la enfermedad más devastadora de las plantas reportada en la historia de la humanidad. Está presente en todas las regiones paperas del mundo y es considerada como la más importante del cultivo de papa, porque si los campos no están protegidos con aplicaciones planificadas de fungicidas y las condiciones ambientales, son al mismo tiempo, óptimas para el desarrollo del patógeno, los sembradíos de papa pueden ser destruidos en 10 o 15 días.

Daños: Afecta a las hojas, tallos y tubérculos de la planta de papa. En las hojas muestra pequeñas manchas irregulares de color verde oscuro, si las condiciones ambientales son óptimas estas manchas se desarrollan dando lugar a manchas necróticas rodeadas de un halo amarillento, en el envés coincide con las manchas del haz y se desarrolla un mildiú blanquecino constituido por esporangioforos y esporangios. En tallos los síntomas se presentan como lesiones oscuras continuas de más de 10 cm de longitud y son frágiles y de consistencia vidriosa, que se quiebran fácilmente con el viento, maquinaria o por el paso de las personas. En los tubérculos la parte externa se observan depresiones superficiales e irregulares de tamaño variable y consistencia dura, cortando un tubérculo afectado, se observa en la superficie una necrosis de forma irregular y de color marrón, en almacenamiento estas heridas son la puerta de entrada para bacterias como *Erwinia spp* y hongos como *Fusarium spp*.

Condiciones favorables: Los requerimientos para que *Phytophthora infestans* se desarrolle son una humedad relativa mayor al 90% por 72 horas y temperaturas

promedio de 12 a 15 °C, con estas condiciones el patógeno desarrolla esporangios, los cuales son diseminados por el aire o neblina los cuales contienen zoosporas que cuentan con flagelos con los cuales pueden movilizarse en la película de agua que existe en las hojas o tallos. El patógeno sobrevive de un año a otro por medio del micelio en residuos de cosecha el cual tiene una viabilidad de 2 años, por lo cual los nuevos cultivos tienen el riesgo de infectarse en el primer estado de desarrollo.

Tizón temprano (*Alternaria solani*)

Descripción: se considera después del tizón tardío, la enfermedad foliar más importante del cultivo de papa se presenta con mayor incidencia en las zonas paperas ubicadas en las regiones húmedas y cálidas. Las pérdidas se estiman entre 10 a 50% de los rendimientos. La enfermedad puede ser causada por varias especies de alternaria como son: *A. alternata*, *A. dauci f*, *A. brassicae*, *A. porri f*, *A. tenuissima* (Torres y Ames, 1995).

Daños: Manchas necróticas de 1 a 2 mm de diámetro que se presentan en las hojas basales a partir de los 45 días después de la siembra o a partir de la etapa de floración. A medida que desarrolla la enfermedad, las manchas se rodean de un halo clorótico y forman lesiones necróticas con anillos concéntricos de color marrón claro en toda el área foliar, estas pueden llegar a medir hasta 2 cm de diámetro. Las manchas se unen y forman áreas muy grandes que abarcan gran parte de los folíolos, cuando esto ocurre se produce defoliación en las hojas del tercio inferior hasta ocasionar la muerte temprana de la planta, de 10 a 30 días antes de la senescencia natural.

Condiciones favorables: El desarrollo máximo del micelio de *Alternaria* se produce a la temperatura de 27 °C, mientras que conidióforos y conidios requieren de una temperatura óptima entre 19 a 23 °C para su desarrollo. La mayor esporulación ocurre cuando las conidias del hongo son expuestas a 18 °C, alternadamente en un ambiente con 12 horas luz y 12 horas de oscuridad durante 12 días. Debido a esta alternancia se forman anillos en las colonias desarrolladas. La enfermedad tiene

mayor incidencia cuando los campos de papa están expuestos a alternancia de periodos lluviosos y secos, los riegos por aspersión también favorecen la incidencia de la enfermedad.

Costra negra (*Rhizoctonia solani*)

Descripción: También conocida como rizoctoniasis (por la presencia de esclerocios en la superficie de los tubérculos afectados) y cancro del tallo (por las lesiones necróticas en los tallos), es una enfermedad que está presente en todas las zonas productoras de la papa del mundo (Frank, 1981). La enfermedad afecta la calidad culinaria y sanitaria de los tubérculos, pero en relación con las pérdidas en los rendimientos. La enfermedad afecta sólo a los tejidos jóvenes de brotes, tallos y estolones. Las costras negras les dan un mal aspecto a los tubérculos y en un mercado exigente como el de México y Costa Rica son rechazados por el consumidor.

Daños: La enfermedad ataca a los brotes del tubérculo semilla en los estados de pre y post emergencia. Los brotes afectados muestran en la base lesiones necróticas de color marrón, que cuando son profundas los estrangulan ocasionando tubérculos pequeños. Posteriormente, cuando las plantas son adultas las lesiones interfieren en el normal movimiento de nutrientes dando lugar a tubérculos aéreos en las axilas de las hojas. Otro de los síntomas asociados con la rizoctoniasis es el encarrujamiento de las hojas apicales y esto ocurre cuando las raíces están afectadas, en algunos casos puede ser confundido con el producido por el virus del enrollamiento de la papa (PLRV).

En la superficie de los tubérculos afectados se observa la presencia de costras negras, llamadas esclerocios que son las estructuras de conservación del hongo, estas estructuras son producidas solamente por los grupos de anastomosis GA₃ y GA₇.

Condiciones favorables: la formación de esclerocios sobre la superficie de los tubérculos ocurre en condiciones de humedad y temperatura de 18 °C; sin embargo,

el máximo desarrollo de esclerocios se encuentra cuando los tubérculos están listos para cosechar y se mantienen en el campo por tiempos prolongados. El hongo se mantiene de un año a otro, como esclerocios (GA₃) y como micelio (GA₄) en residuos de cosecha o material orgánico que se encuentran en el suelo. El monocultivo incrementa la población *Rhizoctonia* en el suelo.

Pierna negra. *Pectobacterium spp*

Descripción: Las pectobacterias son patógenos necrotrofos agresivos que albergan un gran arsenal de enzimas que degradan la pared celular. Estas enzimas, junto con factores de virulencia adicionales, se emplean para macerar el tejido del hospedante y promover la muerte de la célula para proporcionar nutrientes a los patógenos. Las pectobacterias están presentes en todos los tubérculos, suelen estar presentes en las lenticelas de los tubérculos usados como semilla. La mayoría de los tubérculos usados como semilla son portadores asintomáticos de una o varias de estas bacterias, pudiendo desarrollar la enfermedad si las condiciones son adecuadas.

Daños: En la planta aparecen manchas negras en la base del tallo. Las plantas se quedan pequeñas, se amarillean y se marchitan. A este síntoma se le llama *Pie negro*. En los tubérculos aparecen manchas húmedas de color café crema y de mal olor, ha este síntoma se le llama *Pudrición*.

Condiciones favorables: El monocultivo de papa por varios años incrementa la incidencia y severidad. Además, los suelos húmedos con temperaturas bajas de 10 a 17 °C en la siembra, seguido por temperaturas altas de 20 °C en la emergencia, generan las condiciones óptimas para el patógeno. Las heridas en los tubérculos, almacenarlos mojados y el almacenamiento en sitios húmedos elevan las condiciones para el desarrollo de la bacteria.

Roña (*Spongospora subterranea*)

Descripción: La roña es una enfermedad que afecta la calidad de los tubérculos, pero no los rendimientos. En variedades susceptibles puede afectar hasta un 97.5% de los tubérculos y con una severidad del 81 a 95%. La severidad depende de la susceptibilidad del cultivar, grado de infestación del suelo y condiciones de humedad y temperatura del suelo. El hongo está presente en las áreas productoras de papa localizadas en las partes frías y húmedas de los hemisferios norte y sur. Además, *Spongospora subterranea* es vector del virus Mop top de la papa (PMTV), (Jones and Harrison, 1969).

Daños: La enfermedad afecta raíces, estolones y tubérculos, pero no al follaje. Las raíces de las plantas enfermas muestran agallas o tumores lisos, de 0.5 a 1.5 cm de tamaño y de forma irregular de color oscuro. La infección en estolones ocurre paralelamente a la infección de las raíces con síntomas similares pero las agallas más pequeñas y en tubérculos muestran pústulas que son inicialmente lisas y de color blanquecino estas continúan desarrollándose hasta alcanzar 1 cm de diámetro y se tornan a color oscuro. Las pústulas pueden unirse y formar áreas de infección más grandes hasta abarcar una buena parte de la superficie del tubérculo. Cuando las pústulas maduran encierran esporas, se rompen a la presión y liberan esporangios de descanso, como resultado las pústulas se muestran en la superficie como lesiones necróticas cicatrizadas, que permiten la entrada de otros patógenos como *Fusarium*.

Condiciones favorables: la infección de las plantas de papa se realiza por medio de los esporangios de descanso que se encuentran en el suelo y tubérculos semilla cuando la humedad en el suelo es alta y la temperatura oscila entre 16 y 20 °C, bajo estas condiciones las agallas se forman en menos de 3 semanas. Las zoosporas al contar con flagelos solo necesitan una película de agua en el suelo para movilizarse e inocular la planta, cuando el suelo está seco se reduce la movilización del patógeno y no hay infección. Los esporangios de descanso persisten en el suelo por más de 6 años (Manzer et al., 1956).

Sarna común (*Streptomyces scabiei*)

Descripción: La sarna común está presente en la mayoría de las zonas paperas más importantes del mundo. La enfermedad es causada por las bacterias *Streptomyces scabiei* y *Streptomyces acidiscabies*, las dos especies son Gram-positivas. La sarna reduce la calidad comercial de los tubérculos que se utilizan en el procesamiento y la calidad sanitaria cuando son usados como semilla. De acuerdo con (Loria *et al.*, 1997), la sarna está considerada por los agricultores como la cuarta enfermedad más importante en EUA. En algunos campos infectados, los tubérculos llegan al 80 % pero no produce pérdidas en el rendimiento.

Daños: La enfermedad afecta a los órganos subterráneos de la planta. En casos muy severos la planta detiene su crecimiento y puede causar marchitez (Loria *et al.*, 1997). Los tubérculos son los más afectados y los síntomas más comunes son: pústulas levantadas de forma circular de aspecto corchoso, color marrón y entre 5-10 mm en la superficie de los tubérculos. También puede mostrar lesiones hundidas o cavidades semiprofundas o lesiones necróticas en forma de figuras poliédricas, reticulares o estrelladas. Estos síntomas están asociados a la tolerancia o susceptibilidad de las variedades.

Condiciones favorables: La bacteria es un habitante natural del suelo, el cual es el inóculo principal, sobrevive saprofiticamente en residuos de cosecha y materia orgánica como estiércol incorporado al suelo como abono. El monocultivo incrementa la incidencia de la enfermedad. La presencia de humedad en el suelo durante el período crítico de formación de tubérculos controla la enfermedad (Davis *et al.*, 1976), en cambio la sequía incrementa la incidencia y severidad.

Enfermedades de tubérculos almacenados

Pudrición seca (*Fusarium spp.*) y Pudrición blanda (*Erwinia spp.*)

Descripción: Todas las enfermedades que se presentan en los tubérculos almacenados son causadas por patógenos provenientes de los campos de cultivo, *Fusarium spp* y *Erwinia spp*, son consideradas las enfermedades más importantes

en los tubérculos almacenados, los cuales contienen estructuras de propagación (conidios, micelio), o de conservación (esclerocios, clamidosporas, oosporas). Estos pasan por desapercibidos por los agricultores al almacenar aparentemente tubérculos sanos los cuales inician infecciones nuevas en la etapa de almacenamiento.

Daños: *Fusarium spp* provoca pudrición seca, los tubérculos se vuelven duros por la pérdida de agua y el tejido se arruga y se seca. En cambio, cuando *Erwinia* y *Fusarium* están presentes en la superficie de los tubérculos, primero ingresa *Fusarium* por las heridas y posteriormente ingresa *Erwinia* a través del tejido infectado por *Fusarium*. Al final del periodo de almacenamiento, los tubérculos enfermos muestran síntomas de pudrición blanda, dando la impresión de que la pudrición blanda, existente fuera causada solamente por *Erwinia*.

Condiciones favorables: La incidencia de cualquiera de estas enfermedades será alta o baja dependiendo de las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad relativa), y la presencia de uno u otro patógeno. En este sentido, en los almacenes con ambiente controlado, las pérdidas serán mínimas del 5 % y en almacenes comunes las pérdidas por pudriciones pueden alcanzar hasta un 80 %.

Pudrición blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Descripción: La enfermedad es causada por dos especies: *Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotinia minor* Jagger, está presente en las zonas paperas frías de todos los países (Torres, 1989).

Daños: Afecta a las plantas en desarrollo, en dos formas., en el cuello de la raíz, esto ocurre porque los esclerocios del hongo que se encuentran en el suelo germinan produciendo micelio, el cual invade la zona del cuello, ocasionando lesiones húmedas, hundidas, cubiertas de micelio y esclerocios y como consecuencia la caída de tallos, esto se presenta mayormente en suelos infestados y demasiado húmedos. En los tallos los síntomas se presentan en las porciones de tejido del tercio inferior, medio y superior de los tallos, los síntomas se inician en las

axilas de las hojas, debido a que los esclerocios al germinar forman estructuras sexuales conocidas como apotecios (Ames, 1981). En tubérculos almacenados, ocasionalmente presentan síntomas de pudrición semiseca, la piel se arruga y se desarrolla un micelio blanquecino en la superficie.

Condiciones favorables: El patógeno se presenta cuando la humedad relativa y humedad del suelo es alta y hay poca circulación de aire entre los surcos (alto índice foliar). Los apotecios quedan en la superficie de los suelos infestados y cuando maduran, las ascosporas son liberadas violentamente en el aire desde donde alcanzan las ramificaciones del tallo, y axilas de las hojas. Si los esclerocios son grandes corresponden a la especie *S. sclerotiorum*, si son pequeños, a *S. minor*.

Fertilización e importancia en el cultivo de papa

El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo (White *et al.*, 2007), y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes).

Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg por hectárea de N, P, K, Ca y Mg respectivamente, para una producción de 20 t ha⁻¹ que evidencia los altos requerimientos nutricionales que presenta el cultivo.

De acuerdo con Horneck y Rosen (2008), la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado del tubérculo la planta consume más del 50%, con una demanda diaria 7 kg ha⁻¹ día, para el caso de fósforo (P) la demanda fluctúa entre 0.4 a 0.9 kg ha⁻¹ día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y el clima, para el potasio (K) la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹ día.

Aunado a lo anterior el continuo incremento en el precio de fertilizantes están afectando la rentabilidad, en 2021 los costos de estos se han duplicado comparados con los 3 años anteriores y estos representan más del 25% del costo total de la producción, por lo cual es indispensable realizar un análisis de los suelos destinados

para el cultivo y diseñar las fórmulas adecuadas de fertilización, para optimizar el uso de fuentes fertilizantes (Castellanos, 2021).

La fertilización tiene la función de suministrar nutrientes a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad usualmente los macronutrientes N, P, K son aplicados al cultivo de Papa cuando las reservas del suelo son limitadas.

Pero además se deben acoplar sus demandas, debido a ello es importante conocer las curvas de absorción nutrimental, un manejo adecuado requiere además de conocer la actividad del suelo asociarla con la demanda total y la tasa diaria de acumulación nutrimental del cultivo, las cuales están en función de la tasa de crecimiento, etapa fenológica, variedad, condiciones ambientales y metas de rendimiento (Bertsch, 2003).

Función de los nutrientes en la planta y su deficiencia

Nitrógeno (N)

El nitrógeno presenta una alta movilidad, tanto en el suelo como en tejidos vegetales y sus principales funciones en la planta son la síntesis de aminoácidos, proteínas y la clorofila; es un constituyente de enzimas, cromosomas y vitaminas.

El cultivo de la papa requiere suficiente nitrógeno durante el crecimiento rápido y la tuberización, la cantidad a aplicar varía de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo, las fuentes y puede ir de 100 hasta 300 unidades por hectárea. El nitrógeno ocupa entre 3 y 5% del peso seco de la papa (Yara México, 2021).

Las plantas deficientes en nitrógeno son achaparradas cloróticas, erectas, con hojas jóvenes verde pálido y hojas basales amarillas y secas. El nitrógeno se pierde por remoción de plantas, lavado, desertificación y erosión (Haifa-Group, 2021).

Fósforo (P)

El fósforo presenta alta movilidad en los tejidos vegetales, pero es muy poco móvil en el suelo. Es un complemento de proteínas y participa en el transporte de energía en forma de ATP. Estimulan la formación y crecimiento de las raíces.

El cultivo de papa requiere cantidades relativamente pequeñas de este elemento, pero en suelo calcáreos de pH alcalino y en suelos muy ácidos, la eficiencia de los fertilizantes utilizados puede ser inferior al 8% lo que obliga al productor a utilizar cantidades elevadas de fertilizantes fosfatados (Yara México, 2021).

El mayor requerimiento de fósforo en la planta ocurre durante el crecimiento inicial y al final de la tuberización, la deficiencia de este elemento se manifiesta con plantas pequeñas y presenta tallos, hojas y ramas de color púrpura, disminuye el crecimiento de raíces y estolones lo cual reduce el rendimiento. En muchos tipos de suelos pueden presentar problemas con este elemento el cual se pierde por remoción, fijación y formación de compuestos insolubles. (Haifa-Group, 2021).

Potasio (K)

El potasio ocupa entre el 1.5 y el 15% del peso seco de la papa. Su movilidad en los tejidos vegetales es alta, mientras que en el suelo se considera media. No es componente de estructuras en los órganos de la planta, pero interviene en la formación de azúcares y almidón, síntesis de proteínas, catalizador de reacciones, neutraliza ácidos orgánicos y opera la regulación estomática, estimula el vigor y resistencia a las enfermedades y aumenta el tamaño y la calidad de los frutos (Yara México, 2021).

El potasio requiere estar en equilibrio con Ca y Mg para que la absorción de estos elementos no se inhiba, y es conveniente fraccionar su aplicación con el fin de reducir los problemas de fijación y baja disponibilidad al final del ciclo donde es mayor su demanda por el cultivo.

Las plantas deficientes en potasio manifiestan, hojas con márgenes cloróticos y necrosis, puntos verdes pálidos, sistema radical y tallos débiles, estolones cortos, lo cual reduce los rendimientos y la calidad del tubérculo (Haifa-Group, 2021).

Calcio (Ca)

El calcio ocupa entre el 0.5 al 80% del peso seco del tubérculo, presenta muy baja movilidad en el floema y su movilidad en el suelo es baja, ayuda a mantener la integridad y permeabilidad de las membranas celulares y es un componente del pectato de calcio en las paredes celulares, interviene en la división y elongación celular, en el crecimiento y asimilación de nitrógeno, aumenta la germinación del polen y neutraliza ácidos orgánicos (Yara México, 2021).

La deficiencia de calcio afecta a las zonas meristemáticas, las plantas presentan coloración café en los puntos de crecimiento, los cuales mueren enseguida; las hojas terminales son deformes, el crecimiento radical es reducido, los tubérculos presentan una necrosis difusa en el anillo vascular cerca de la inserción del estolón y pueden desarrollar susceptibilidad al ataque de patógenos que pueden causar pudriciones apicales.

En suelos ricos en este elemento la asimilación puede ser un problema y este se puede corregir mediante el uso de ácidos fúlvicos y carboxílicos (Haifa-Group, 2021).

Magnesio (Mg)

El magnesio tiene un valor de 0.10% de peso seco en el tubérculo. Presenta alta movilidad en la planta, y su movilidad en el suelo se considera media, forma parte de la molécula de clorofila y sirve como factor de la mayoría de las enzimas que activan los procesos de la fosforilación oxidativa, síntesis de ARN y de proteínas. Es necesario en la formación de azúcares y ayuda a regular la asimilación de

potasio y calcio. Además, actúa como transporte de fósforo en la planta y promueve la formación de aceites, grasas y la molécula de clorofila (Yara México, 2021).

Los síntomas de deficiencia son la clorosis intervenal en hojas viejas, y en casos severos también se observan en hojas jóvenes, las que pueden generar áreas necróticas. La deficiencia puede estar relacionada a concentraciones bajas del elemento en el suelo o por exceso de calcio o potasio, lo cual bloquea la absorción de este elemento (Haifa-Group, 2021).

Azufre (S)

El azufre ocupa alrededor del 0.08 y el 0.3% del peso de la planta de papa; su movilidad es media en los tejidos vegetales y alta en el suelo. Entre sus principales funciones en la planta está la síntesis de proteínas y forma parte de los aminoácidos cistina y tiamina, además de la clorofila por lo cual aumenta el color verde intenso de la planta.

Las plantas deficientes presentan hojas verdes pálido alimonado, con una mayor intensidad clorótica en las hojas jóvenes; las raíces son más largas y los tallos tienen aspecto corchoso. La presencia excesiva de azufre puede ocasionar una senescencia temprana de las hojas (Haifa-Group, 2021).

Fierro (Fe)

El contenido de fierro en el follaje varía de 10 hasta 100 ppm del peso seco de la planta, siendo suficiente concentraciones de 35 a 7 ppm; presenta baja movilidad tanto en el suelo como en la planta. Es el componente importante en varios sistemas enzimáticos y de la proteína ferredoxina la cual es necesaria para la reducción de nitratos y sulfatos, así como para la síntesis de clorofila (Yara México, 2021).

La deficiencia del elemento en la planta se manifiesta como una clorosis intervenal en las hojas jóvenes, cuando es muy severa la deficiencia se presentan

coloraciones blanquecinas y la clorosis se muestra en toda la planta (Haifa-Group, 2021).

Manganeso (Mn)

El contenido adecuado de manganeso en el peso seco de la planta de papa es de 40 ppm; la movilidad se considera baja en el suelo y en tejidos vegetales. Participa en la síntesis de la clorofila y en los procesos de oxidación en el sistema de transporte de fotoasimilados. Las plantas presentan una clorosis intervenal en las hojas jóvenes, con las venas verde pálido. La disponibilidad del manganeso disminuye al incrementar el pH del suelo, y este suele reaccionar con los fosfatos y se fija creando compuestos insolubles (Haifa-Group, 2021).

Zinc (Zn)

El nivel óptimo de zinc en el follaje va de 20 a 150 ppm del peso seco de la planta, este elemento presenta baja movilidad tanto en el suelo como en la planta. Participa en la síntesis de las auxinas y como factor en las enzimas que activan los procesos de la fosforilación oxidativa.

El cultivo de papa requiere el suministro de zinc durante casi todo el ciclo, su disponibilidad disminuye al aumentar el pH del suelo y tiende a reaccionar con los fosfatos. Las plantas deficientes presentan raíces anormales, hojas moteadas con clorosis intervenal y bronceadas. El exceso de zinc puede causar deficiencias de otros elementos menores como el hierro (Fe) (Haifa-Group, 2021).

Cobre (Cu)

El cobre muestra un nivel adecuado en el peso seco de la planta en un rango de 5 y 7 ppm, la movilidad del elemento es baja en los tejidos vegetales y en el suelo y participa como constituyente de la proteína plastocianina del cloroplasto. Además,

sirve como parte del sistema de transporte de electrones ligado a los fotosistemas I y II. Participa en la síntesis de lignina y de ácidos nucleicos.

La disponibilidad del cobre disminuye al incrementar el pH del suelo, el exceso del elemento puede provocar la deficiencia de fierro (Fe), clorosis y un crecimiento reducido de raíces. Las plantas deficientes presentan hojas jóvenes distorsionadas y una necrosis en el meristemo apical (Haifa-Group, 2021).

Boro (B)

El boro presenta un nivel adecuado entre 20 y 70 ppm del peso seco, la movilidad del elemento es medianamente alta en el suelo y muy baja en los haces vasculares. Participa en la síntesis de una de las bases del ARN y en actividades celulares de división, diferenciación y maduración. Además, participa en la estabilidad de la membrana y pared celular e influye en la calidad de los frutos (Yara México, 2021).

Las plantas presentan un crecimiento anormal en las puntas (zonas meristemáticas) y eventualmente el tejido muere, generando brotación de yemas inferiores que producen hojas enrolladas.

Molibdeno (Mo)

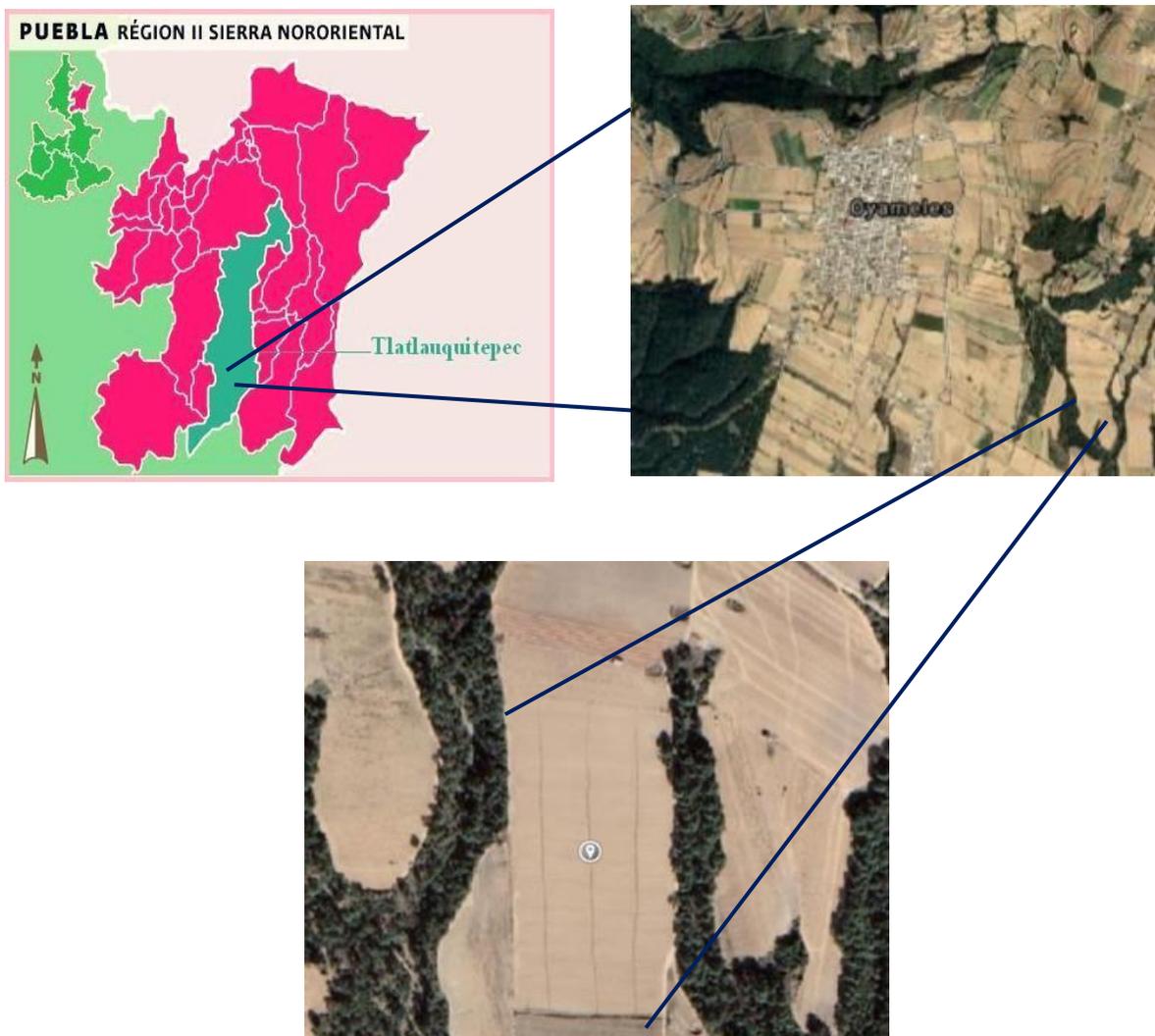
La concentración del elemento es generalmente menor a 15 ppm del peso seco de las plantas, tiene una movilidad media tanto en los tejidos vasculares como en el suelo. Es componente de la nitrogenasa y nitrato reductasa. Además, participa en la síntesis de proteínas.

La deficiencia del elemento presenta síntomas parecidos a la falta de nitrógeno, las plantas son pequeñas, hojas viejas cloróticas y su disponibilidad en el suelo aumenta al elevarse el pH; el exceso de molibdeno no es tóxico para las plantas (Haifa-Group, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el rancho “El Valle”, en el ciclo primavera- verano del 2020, en la localidad de Oyameles de Hidalgo Tlatlauquitepec, Puebla. El experimento se ubicó en las coordenadas 19°41' 02.4 `` Latitud norte y 97°31' 00.7" Longitud Oeste, a una altura de 2656 msnm. Colinda al norte con Zaragoza, Tlatlauquitepec, Teziutlán; al este con Perote Veracruz; al suroeste con Cuyoaco, Libres y Oriental; y al oeste con San Miguel Tenextatiloyan. Su distancia aproximada a la Capital del Estado por carretera es de 122 km.



Establecimiento del experimento

El lote donde se llevó a cabo el experimento tiene una superficie total de cinco hectáreas que el productor tiene destinadas para la producción de papa, cereales y leguminosas. La superficie del área experimental fue de un total de 2.22 hectáreas en las que se establecieron 5 tratamientos con diferentes superficies cada uno, debido a la disponibilidad de insumos y al tamaño de semilla con que contaba el productor.

La siembra inició el día 15 de julio del 2020, la cual se realizó de manera mecánica con la ayuda de tractor y sembradora, la cual realiza surcos de 0.90 m de distancia y con una densidad aproximada dependiendo el calibre de las semillas ejemplo: calibre segundas de 5 a 5.3 semillas por metro y de 13 a 15 cm de profundidad, calibre terceras de 5.6 a 6.3 semillas por metro y de 11 a 13 cm de profundidad, cuartas de 6.3 a 6.6 semillas por metro y de 7 a 9 cm de profundidad.

Características del sitio experimental

Clima

El clima en Oyameles de Hidalgo Tlatlauquitepec, Puebla es frío-húmedo con temperaturas promedio de 11 °C. La precipitación acumulada anual es de 1050 mm al año. Las heladas tienen presencia importante en los meses de octubre-febrero y la presencia de granizo en el mes de mayo a junio y el régimen de lluvias continuas importantes son en los meses de junio a septiembre.

Características y uso del suelo

El tipo de suelo que predomina en la zona es “Luvisol” según la clasificación FAO-UNESCO, los cuales presentan acumulación de arcillas en el subsuelo, de textura franca, franca-arcillosa. Son de zonas templadas o tropicales lluviosas, su vegetación es de bosques; de color rojizo o claro y son moderadamente ácidos con alta susceptibilidad a la erosión.

Vegetación

El tipo de vegetación que predomina en la zona es de bosques de tipo oyamel, pino (Ocote), encinos, sabinos y matorrales. En cuanto a los cultivos principales que se producen están las habas, maíz, frijol, cebada, trigo, avena, chícharo y papa.

Características del material a utilizar

Meijer-potato, (2021) describe la variedad como robusta (resistente al estrés), estable y con un rendimiento neto alto.

Orquesta, es una papa bonita y robusta, destinada para el mercado de la papa de mesa y resistente a la cocción. Su bonita forma, calibre y tamaño hacen que esta papa sea adecuada para su cocinado como patatas asadas o a la parrilla. Es una variedad temprana (ciclo corto), que permanece intacta bajo condiciones de estrés.

- Material genético: CV. Orquesta
- Origen: Holanda
- Ciclo: Precoz
- Hábito de crecimiento: Semi Erecto
- Planta: Pocos tallos, color verde profundo
- Materia seca: 17.8%
- Rendimiento: Alto
- Follaje: Cobertura media a alta
- Color de la flor: Blanca
- Color del tubérculo: Amarillo claro
- Forma del tubérculo: Ovalado
- Reposo vegetativo: Medio
- Tolerancia: Virus Y, Sarna, Nematodos Ro1, Estrés.
- Calidad culinaria: Mercado fresco
- Sensibilidad: *Fusarium* spp

Descripción de los paquetes tecnológicos

Se evaluaron tres paquetes tecnológicos a la siembra para medir su respuesta en el rendimiento con los distintos calibres de semillas básicas de papa (Var. Orquesta), los cuales se aplicaron al fondo del surco al momento de la siembra con ayuda de la sembradora mecánica.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos para cada paquete tecnológico.

TRATAMIENTO	FUNGICIDAS	INGREDIENTE ACTIVO	INSECTICIDAS	INGREDIENTE ACTIVO	NUTRICIÓN
PAQUETE 1	Pulsor	Thifluzamide 23%	Mocap	Etoprofos 69%	Enzymax radicular
	Antracol	Propineb 70%			
	Ernesto	Penflufen 22.4%	Oregon	Abamectina 5.41%	Hortiroot
	Headline	Pyraclostrobin 23.6%			
	Amistar	Azoxystrobin + difenoconazole.			
	Tecto 60	Tiabendazol 60%			
PAQUETE 2	Pulsor	Thifluzamide 23%	Mocap	Etoprofos 69%	Enzymax radicular
	Antracol	Propineb 70%			
	Mertect	Tiabendazol 42.75%	Oregon	Abamectina 5.41%	Hortiroot
	Headline	Pyraclostrobin 23.6%			
	Amistar	Azoxystrobin + difenoconazole			
	Fontelis	Penthiopyrad 20.4%			
PAQUETE 3	Pulsor	Thifluzamide 23%	Mocap	Etoprofos 69%	Enzymax radicular
	Antracol	Propineb 70%			
	Mertect	Tiabendazol 42.75%	Oregon	Abamectina 5.41%	Hortiroot
	Headline	Pyraclostrobin 23.6%			
	Amistar	Azoxystrobin + difenoconazole			
	Fontelis	Penthiopyrad 20.4%			
					Coda humus
					Rooting

Dosis de fertilización de fondo.

El cultivo de papa requiere altos niveles de nutrientes (N 170 - P 350 - K 400, Mg 40 - Ca 40), y un adecuado balance entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para obtener altos rendimientos y calidad en los tubérculos.

Se evaluaron dos mezclas como fuentes de fertilización de fondo: Revoltura diseñada por el agricultor, y mezcla Agrys 12-20-15 diseñada con base al análisis de fertilidad del suelo, las cuales se aplicaron al momento de la siembra con el uso de la fertilizadora mecánica, calibrada a una dosis de 1,300 kgha⁻¹, aplicados en banda al fondo del surco antes de depositar las semillas.

Cuadro 3. Descripción de fuentes evaluadas de fertilizantes

TRATAMIENTO	FUENTE	kg
MEZCLA AGRICULTOR	DAP (18-46-00)	300
	TRIPLE 16	250
	AZUL ESPECIAL	150
	CLORURO DE POTASIO	100
	AZUFRE 90 %	100
	SULFATO DE POTASIO	100
MEZCLA AGRYS 12-20-15	MicroEssentials SZ	DOSIS Y UNIDADES DE FERTILIZANTES DISEÑADA POR EL PROVEEDOR.
	K-MAG, PREMIUM	
	CAUDILLO NARANJA	
	NITRO PERFECTO + KBrn	
	TIGER 90 CR	

Distribución de los tratamientos

Las evaluaciones y distribución de los tratamientos en el lote se realizaron en base a la disponibilidad de cada calibre de semilla, fertilizante y agroquímicos, ya que la producción fue de manera comercial en un lote 5 hectáreas, cuya evaluación se llevó a cabo en 2.22 ha.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos evaluados

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5
N° DE SURCOS	14	32	88	10	50
TAMAÑO DE TUBÉRCULO SEMILLA	5 ^{tas}	2 ^{das}	2 ^{das}	2 ^{das}	3 ^{eras}
PAQUETE DE FONDO	3	3	1	2	2
FERTILIZANTE	M. AGRI	M.AGRI	12-20-15	12-20-15	12-20-15
SUPERFICIE m ²	1,767 m ²	3,523 m ²	10,031m ²	1,176 m ²	5,769 m ²
N° CAJAS	89	274	1,032	117	601
t/TRATAMIENTO	2.31	7.12	26.83	3.04	15.62
t ha ⁻¹	13.09	20.22	26.74	25.86	27.08

Manejo fitosanitario

Para el manejo fitosanitario para la producción de semillas en el cultivo de papa, se realizó un programa de control estricto para el control de insectos vectores y enfermedades que limitan el potencial genético de la semilla, además del rendimiento y calidad, basado en la rotación de ingredientes activos mediante el uso de la lista FRAC é IRAC. El manejo y presión de insectos y enfermedades estuvo determinado principalmente por las condiciones meteorológicas, hospederos alternantes y cultivos vecinos.

Cuadro 5. Descripción de los materiales insecticidas, fungicidas y bactericidas implementados en cada aplicación para el manejo fitosanitario en la producción de semillas de papa (Var. Orquesta).

INSECTICIDAS						
NOMBRE COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	PORCENTAJE	DOSIS POR HA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	GRUPO IRAC
Muralla Max	Beta Cyfluthrin + Imidacloprid	8.4 % + 19.6%	500 ml	Pulgón Mosca blanca	<i>Myzus persicae</i> <i>Bemisia tabaci</i>	1A + 4A
Thiaba	Abamectina + Thiametoxam	3.04% + 13.96%	250 ml	Minador Paratrioza	<i>Liriomyza sativae</i> <i>Bactericera cockerelli</i>	6 + 4A
Benevia	Ciantraniliprol	10.2%	500 ml	Gusano soldado Minador Mosca blanca	<i>Spodoptera exigua</i> <i>Liriomyza sativae</i> <i>Bemisia tabaci</i>	28
Coragen	Clorantraniliprol	18.4%	200 ml	Palomilla de la papa Minador	<i>Phthorimaea operculella</i> <i>Liriomyza sativae</i>	28

Engeo	Thiametoxan + Lambda cyhalotrina	12.6% + 9.49%	250 ml	Paratrioza Mosca blanca	<i>Bactericera cockerelli</i> <i>Bemisia tabaci</i>	4A + 3A
Toretto	Sulfoxaflor	21.8%	400 ml	Paratrioza Mosca blanca	<i>Bactericera cockerelli</i> <i>Bemisia tabaci</i>	4C
Beleaf	Flonicamid	50%	300 g	Paratrioza Mosca blanca Pulgón	<i>Bactericera cockerelli</i> <i>Bemisia tabaci</i> <i>Myzus persicae</i>	29
Cascade 100	Flufenoxuron	8.7%	250 ml	Paratrioza	<i>Bactericera cockerelli</i>	15
Vydate clv	Oxamil	42 %	1.5 L	Trips Diabrotica Nematodo dorado	<i>Trips tabaci</i> <i>Diabrotica spp</i> <i>Globodera</i> <i>rostochiensis</i>	1A
Oberon	Espiromesifen	22.8%	500 ml	Paratrioza Araña roja	<i>Bactericera cockerelli</i> <i>Tetranychus urticae</i>	23
Movento	Spirotetramat	15.3%	500 ml	Mosca blanca Paratrioza	<i>Bemisia argentifolli</i> <i>Bactericera cockerelli</i>	23
Curacron	Profenofos	73.5%	400 ml	Trips Paratrioza Diabrotica Palomilla	<i>Frankliniella</i> <i>occidentalis</i> <i>Bactericera cockerelli</i> <i>Diabrotica spp</i> <i>Phthorimaea</i> <i>operculella</i>	1B
Monoupel	Monocrofos	60%	1 L	Trips Diabrotica Paratrioza Mosca blanca	<i>Trips tabaci</i> <i>Diabrotica spp</i> <i>Bactericera cockerelli</i> <i>Bemisia tabaci</i>	1B

FUNGICIDAS						
NOMBRE COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	PORCENTAJE	DOSIS POR HA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	GRUPO FRAC
Noster cln	Clorotalonil + Cymoxanil	72% + 8%	2.5 kg	Tizón tardío Tizón temprano	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Alternaria solani</i>	M + U
Estocade	Venifenalate + Clorotalonil	10% + 65%	1.5 kg	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	H5 + M
Diprospero	Dimethomorf + Propamocarb	8.1 % +45.3%	2.5 L	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	H5 + F4
Polyram	Metiram	70%	2 kg	Tizón tardío Tizón temprano	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Alternaria solani</i>	M
Zampro	Ametoctradin + Dimetomorf	27% + 20.3 %	1 L	Tizón tardío Tizón temprano	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Alternaria solani</i>	C + H5
Zorvect	Oxatiapripronil	10.1%	150 ml	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	F9
Cantus	Boscalid 50%	50%	200 g	Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	C2
Vencedor	Mancozeb + Azoxystrobin + Tebuconazole	59.7% + 4.7% + 5.6%	2 kg	Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	M3 + C3 + G1
Equation pro	Cymoxanil + Famoxadona	30% + 22.5%	500 g	Tizón tardío Tizón temprano	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Alternaria solani</i>	U + C3

Mut	Carbendazim	50%	500 g	Pudrición radical	<i>Rhizoctonia</i> <i>Fusarium spp</i>	B1
Headline	Pyraclostrobin	23.6%	250 ml	Costra Negra	<i>Rhizoctonia solani</i>	C3
Previcur	Fosetil- AL + Propamocarb	27.6% + 47.3%	1.5 L	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	P7 + F4
BACTERICIDAS						
NOMBRE COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	PORCENTAJE	DOSIS POR HA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	GRUPO FRAC
Final Bacter	Gentamicina + Oxitetraciclina	2% + 6%	1.6 kg	Marchitez Bacteriana	<i>Ralstonia solanacearum</i>	
Terramicina agrícola	Oxitetraciclina	5%	500 g	Marchitez bacterial	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	
Kasumin	Kasugamicina	2.31%	1 L	Pudrición blanda	<i>Erwinia carotovora</i>	D3

Parámetros para evaluar

Rendimiento total del tubérculo, toneladas por hectárea.

El rendimiento total por tratamiento se determinó sumando el número total de cajas obtenidas y multiplicándose por 25.5 kg promedio por unidad, tomando en cuenta la superficie de cada uno de los tratamientos, se calculó el rendimiento aproximado por hectárea con el uso de un GPS portátil.

Porcentaje de calibres total

Se determinó el porcentaje de cada calibre total obtenido, en cada uno de los tratamientos para clasificar los tubérculos óptimos para semilla y comerciales.

Cuadro 6. Clasificación de tubérculos por calibres

Calibre	Diámetro (mm)	Peso (g)
PRIMERA	85- 55	Más de 150
SEGUNDA	55-35	100-150
TERCERA	35-28	60-100
CUARTA	Menor a 28	Menor a 60

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación realizada en el ciclo primavera-verano 2020, en la localidad de Oyameles de Hidalgo, Tlaxiahuatl, Puebla, Rancho El Valle, con la variedad Orquesta, donde se analizó la respuesta de la variedad a tres factores: Tamaño de semilla, Fertilización de fondo y Tratamiento de fondo, se presentan en Gráfica 1. Para el comportamiento de la variable rendimiento por tratamiento en toneladas por hectárea, se observó que los tratamientos 3 y 5 que difieren en el calibre de semilla y en el paquete de siembra utilizado, son los que obtuvieron mayor rendimiento, sobresaliendo el T5 con 300 kg ha^{-1} , arriba del T3.

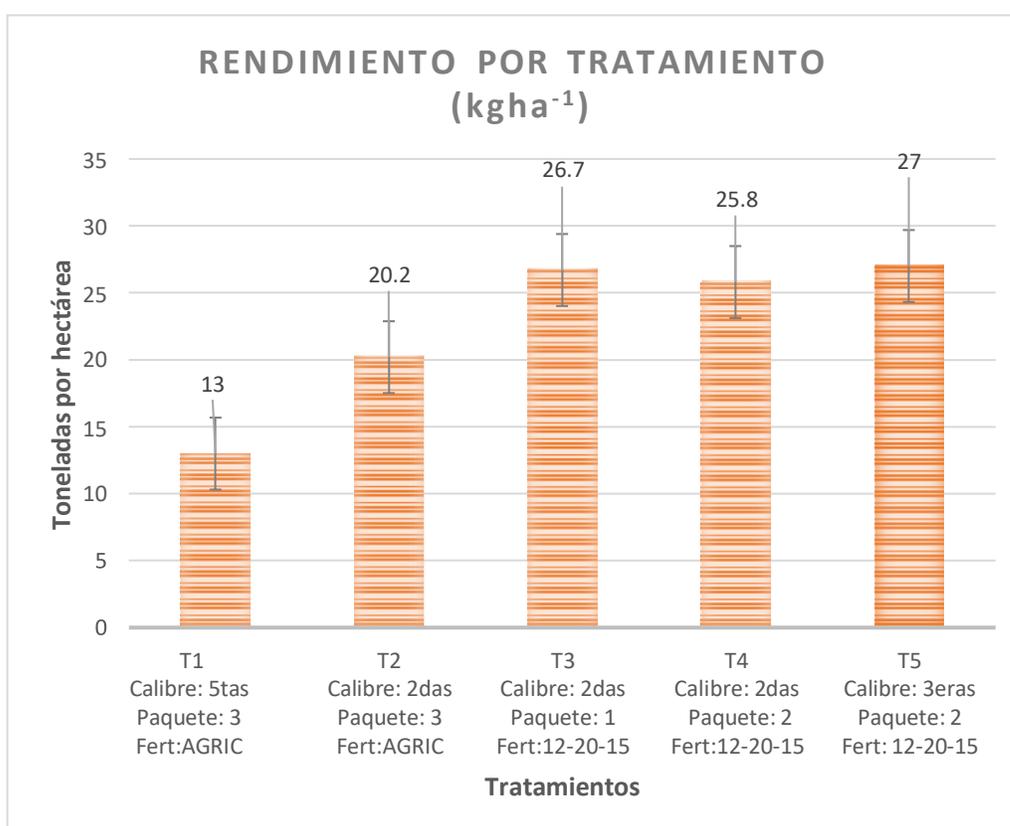


Figura 1. Comportamiento del rendimiento por tratamiento, equivalente a toneladas por hectárea, con base a las toneladas cosechadas reales.

Mostrando una respuesta diferencial de acuerdo con los calibres de la semilla y a los tratamientos aplicados. Atribuyendo esto a lo mencionado por Rocha y Quijano (2015), quienes indican que la densidad en calibres 3^{eras} es de 6 a 6.5 tubérculos-

semilla por metro, en comparación a la densidad de calibres 2^{das}, donde la densidad por metro es de 4.5 a 5 tubérculos-semillas. Lo anterior puede explicar el aumento en el rendimiento de acuerdo con los tratamientos, debido principalmente a los componentes de rendimiento (tubérculos por tallo o tubérculos por planta).

Entre T3 y T4, donde los tratamientos son iguales excepto por el paquete de siembra, se observó una diferencia mínima en cuanto a rendimiento, sobresaliendo el T3 con aproximadamente 1.0 tonelada, lo cual concuerda a lo observado por García (2000), quien menciona que no encontraron diferencias estadísticas en los rendimientos obtenidos al aplicar diferentes paquetes de fungicidas a la siembra, pero si para la calidad de tubérculo; así mismo menciona que aun cuando se tengan rendimientos similares, hay diferencias en calidad de tubérculos, y se tendrá una mayor rentabilidad del cultivo.

Para el caso del T2 y el T3 donde se utilizó diferente fertilización y paquete de siembra, pero similares calibres de semilla, existe una diferencia amplia en cuanto al rendimiento de 24.3%, sobresaliendo el T3 con la dosis 12-20-15. Pudiendo haber afectado en este caso las unidades aplicadas de cada nutriente al suelo, y los antagonismos que se pueden producir entre elementos, lo cual concuerda a lo explicado por Abreu (2017), quien observó que el resultado obtenido por una reducción en las fuentes de N, P, K, provocó que las plantas acumularan menor cantidad de biomasa, lo que puede estar coligado a las condiciones bajo las que crecieron las plantas del T2, por eso no se presentó una expresión plena de su potencial biológico, en la síntesis de nuevos compuestos y formación de estructuras como consecuencia de una menor disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Para el tratamiento 1 podemos observar que la respuesta al calibre de semillas 5^{tas}, mostro un rendimiento menor al 50% aproximadamente en comparación al mejor tratamiento (T5), independientemente a la fertilización y paquete de siembra, lo cual se puede atribuir a que el calibre de semilla entre menor sea, también disminuyen sus reservas y las capacidades genéticas para generar plantas con alto vigor, las cuales son más susceptibles a las condiciones adversas y por lo tanto, menos productivas.

Entre los factores que afectan a la producción de papa, la nutrición tiene una gran importancia por su efecto inmediato en el rendimiento y en la calidad de los tubérculos, sin embargo, también está relacionado con otros factores que afectan en el desarrollo de la planta, como son la resistencia a enfermedades, la duración del ciclo vegetativo, la época de tuberización, la proporción de la parte aérea y tubérculos, etc. La nutrición depende de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y de las características de este.

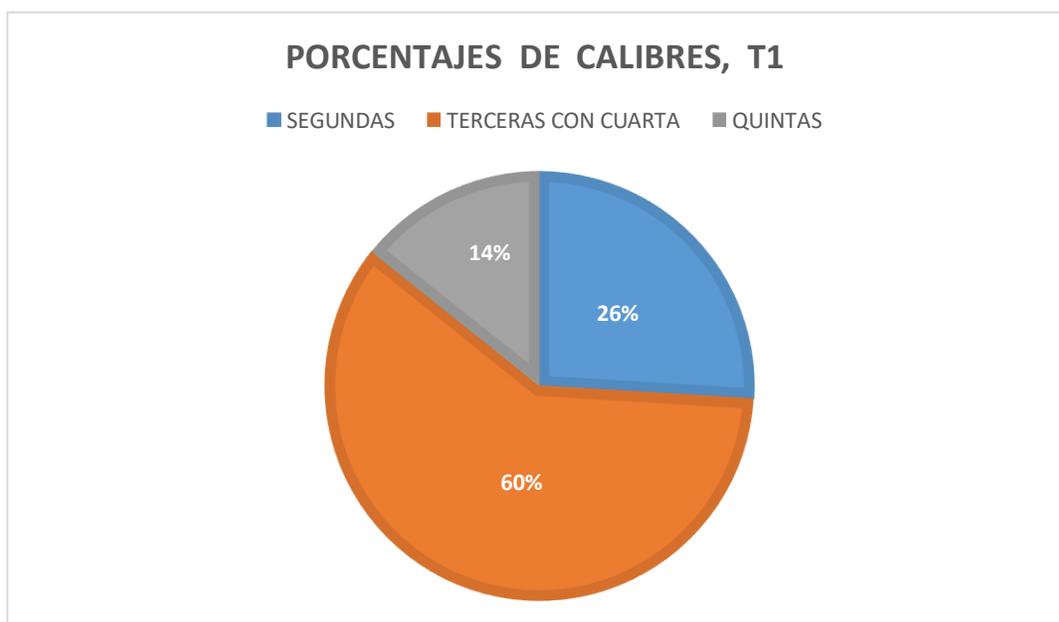


Figura 2. Rendimiento por calibres en el Tratamiento 1.

El Tratamiento 1 fue el que presentó un mayor porcentaje en calibre 5^{tas} (14 %) (Figura 2), lo cual puede atribuirse al uso de semilla pequeña, como lo observó Ranalli *et al.* (1994), quienes indican que el uso de semilla-tubérculo de tamaño pequeño, frecuentemente presenta una lenta emergencia, con lo que el ciclo del cultivo podría alargarse. Por lo cual, con lo observado en este trabajo, se puede deducir que no es muy rentable la implementación con semilla tubérculo de calibre 5^{tas}.

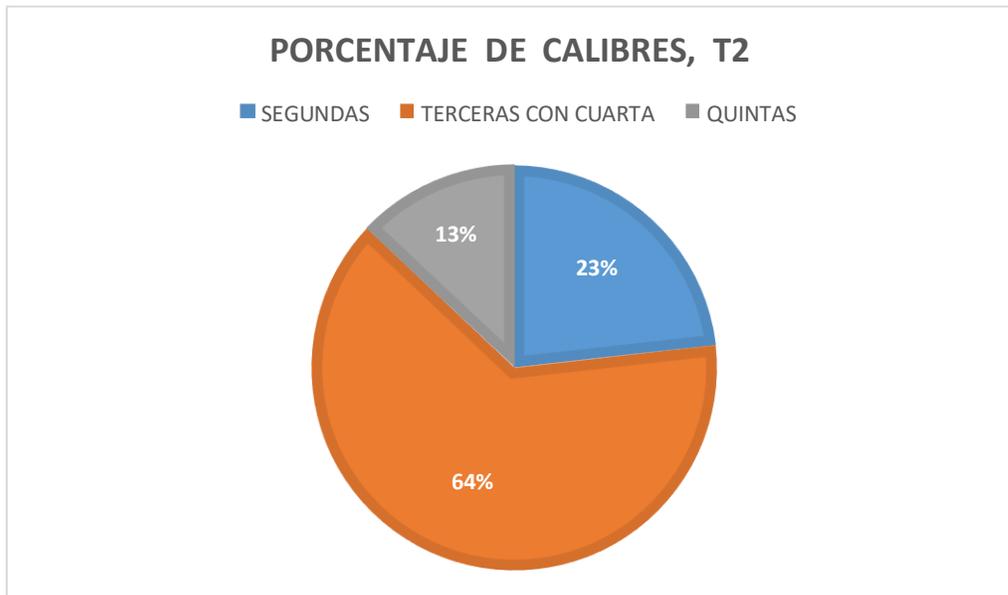


Figura 3. Rendimiento por calibres en el Tratamiento 2.

El Tratamiento 2 (Figura 3), también mostró un alto porcentaje en calibres pequeños, muy similar al T1, lo cual se puede atribuir directamente a la fertilización empleada por el agricultor, esto concuerda con lo mencionado por Herrera y Moreno (2005), quienes mencionan que la papa es un cultivo de ciclo corto, que requiere asimilar grandes cantidades de nutrientes en un breve período de tiempo, así los altos rendimientos están relacionados con una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual se logra con la elevación del nivel tecnológico en el cultivo.

La papa demanda nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (White *et al.*, 2007) y es una de las hortalizas de mayor rentabilidad con altos costos de producción que genera excesiva aplicación de insumos (pesticidas, agua y fertilizantes). La fertilización no solo influye en el rendimiento, sino también en la calidad del tubérculo, el contenido proteico del tubérculo incrementa al aumentar la dosis de N, mientras que la dosis de P afecta la tasa de absorción de aceite utilizado para papas fritas (Ozturk *et al.*, 2010).

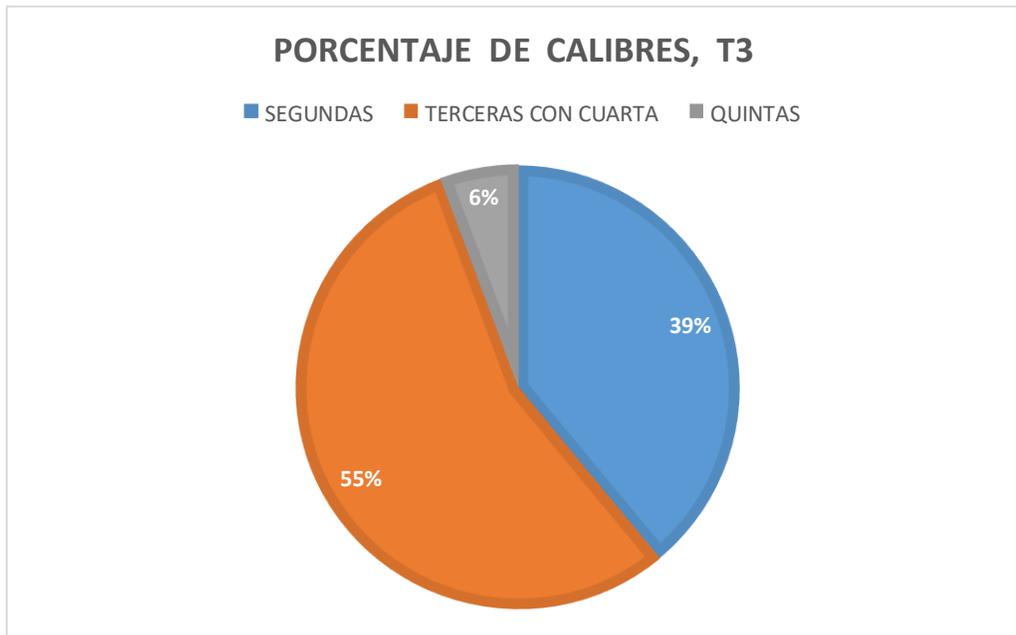


Figura 4. Rendimiento por calibres en el Tratamiento 3.

El Tratamiento 3 presentó el porcentaje más alto en cuanto calibres comerciales, atribuido al paquete tecnológico 1, esto también resulta perjudicial en menor grado ya que los tamaños de los tubérculos han superado el calibre óptimo para su uso como semilla (3^{eras} y 4^{tas}), las cuales son la meta buscada por el productor. Con esto podemos comprobar lo mencionado por Rocha y Quijano (2015), quienes indican que la implementación de semillas con diámetros mayores a 55 mm (2^{das}), demandan mayor cantidad de semilla, lo cual repercute en los costos de producción, además que ese calibre es el que obtiene mejor precio a la venta para consumo en fresco. La fertilización tiene la función de suministrar nutrimentos a los cultivos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad, los macronutrientes NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son restringidas (Ierna *et al.*, 2011), pero, además, deben acoplarse con sus demandas (Bertsch, 2003).

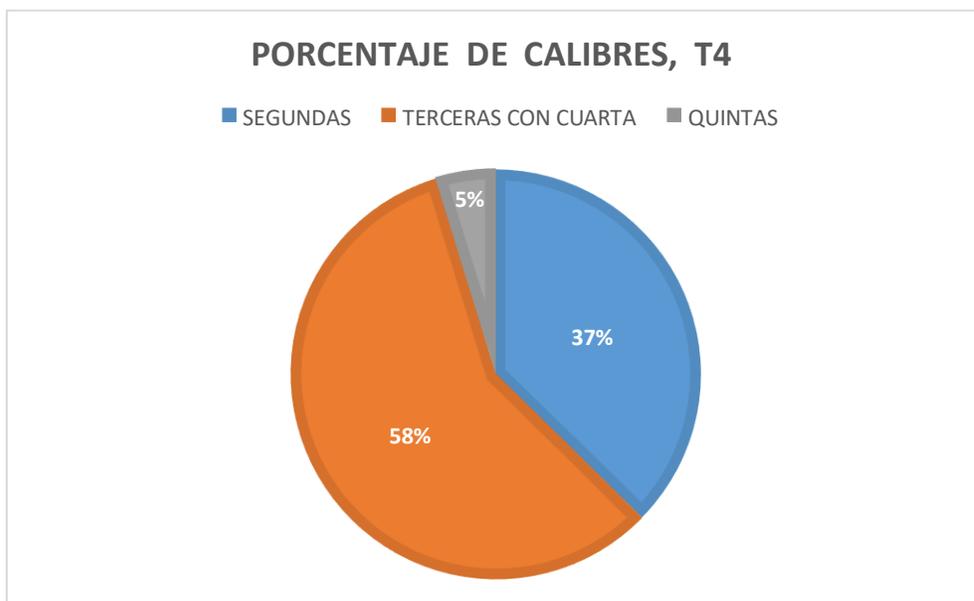


Figura 5. Rendimiento por calibres en el Tratamiento 4.

El tratamiento 4 (Figura 5) muestra una correlación con los tratamientos donde se implementó la fertilización Agrys 12-20-15 (T3, T4, T5). Mostrando una tuberización más uniforme, ya que los porcentajes de tubérculos 5tas, están por debajo del 6 %, coincidiendo con lo explicado por Rocha y Quijano (2015), quienes mencionan que para lograr un buen amarre de tubérculos en la etapa de tuberización es indispensable no exponer al cultivo a ningún tipo de estrés. Entre los factores que inciden en el aborto de tubérculos están la falta de humedad del suelo, un desbalance o deficiencias nutrimentales y altas temperaturas. La fase de tuberización se inicia a partir del engrosamiento de los tubérculos ubicados en los estolones. Se da debido a la asimilación de los azúcares en forma de almidón. Además de nutrientes, el cultivo de la papa para la fase de tuberización y desarrollo del tubérculo requiere de 15 a 20 °C. La papa es considerada una planta termoperiódica, lo que significa que es necesario una variación, entre la temperatura diurna y la nocturna, de por lo menos 10°C. Si la diferencia es menor, el desarrollo y tuberización se ven afectados (Román y Hurtado, 2002).

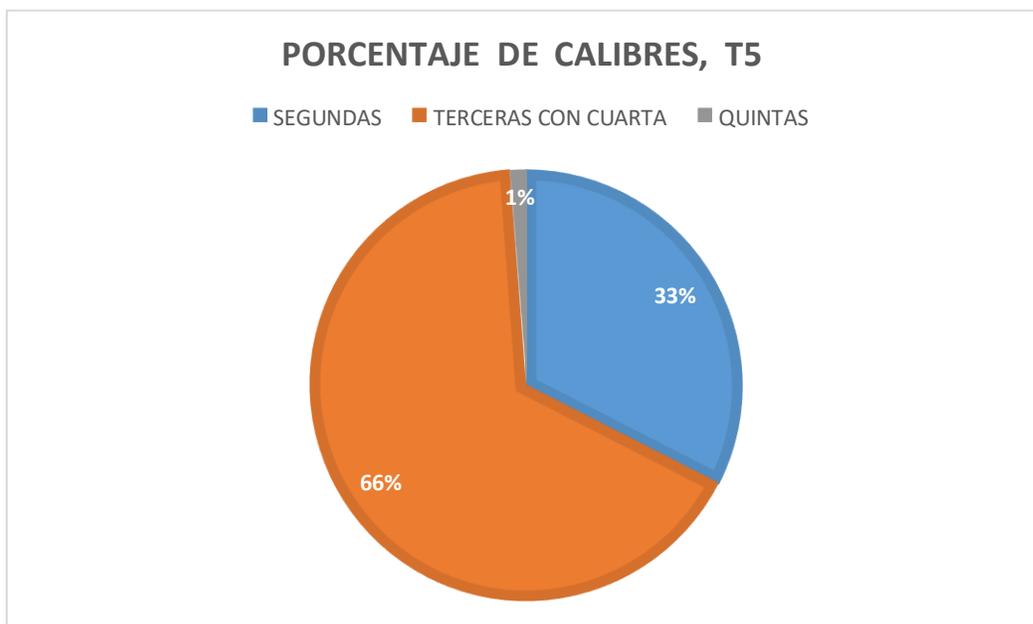


Figura 6. Rendimiento por calibres en el Tratamiento 5.

El tratamiento 5, fue el que tuvo el mayor porcentaje de calibres óptimos para semilla, con un rendimiento medio, en calibres para el mercado en fresco y muy baja incidencia de papas calibre 5^{tas}, atribuyendo esto a la fertilización Agrys 12-20-15 y a la densidad de siembra más alta, al utilizar semilla-tubérculo 3^{eras}. Reflejado directamente en los costos de producción. El cultivo de la papa tiene un sistema radical poco extendido, requiere la aplicación grandes cantidades de nutrientes, en parte debido a su ciclo de crecimiento corto. El N es el nutriente que mayor efecto tiene en el rendimiento y en la calidad del producto, sin embargo, aplicar demasiado N, puede traer consigo el alargamiento del ciclo vegetativo, afectando el índice de cosecha. El fósforo es importante para una tuberización temprana y para el desarrollo del cultivo, mientras que el potasio, ayuda a que los tubérculos tengan un mayor peso seco (acumulación de materia seca). Los tubérculos son el mayor sumidero de la planta de papa, almacenando cantidades grandes de carbohidratos (principalmente almidón) y también proteínas. El almidón representa aproximadamente el 20% del peso fresco del tubérculo maduro.

5. CONCLUSIONES

El tratamiento con la mejor respuesta en cuanto a una mayor producción fue el T5, con calibres 3^{eras}, mezcla 2 y fertilización 12-20-15, con 300 kg por encima del rendimiento del T3. Teniendo en cuenta que todos los tratamientos fueron sometidos al mismo manejo fitosanitario.

El rendimiento obtenido para los tratamientos 3, 4 y 5 resultó similar, se debe considerar que el precio y las toneladas necesarias por hectárea serán mayores al implementar calibres 2^{das} como semilla-tubérculo, por lo cual resulta más afectivo el uso de semillas 3^{eras}, además de que es más fácil su manejo en almacenamiento y siembra, en comparación con los calibres grandes.

Los paquetes tecnológicos 1 y 2 presentaron los mejores resultados, considerando el objetivo de la producción, para ello se tiene que considerar el costo entre los paquetes tecnológicos de producción y su relación en la calidad, para la toma de decisiones.

La fertilización que sobresalió fue la mezcla Agrys 12-20-15, la cual demostró que es necesario la implementación de un análisis de fertilidad, para conocer las concentraciones de nutrientes disponibles en el lote destinado a la producción del cultivo, y poder diseñar la dosis de fertilización adecuada a los requerimientos de este, y la aplicación de enmiendas, para corregir problemas físicos, químicos y biológicos del suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Andrade Piedra, J.L., Kromann, P.O. y Otazú, V. 2015. Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía. Diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Quito, Ecuador. 267 p.

Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307.p

Castellanos, J. Z. 2021. Momento de aprovechar los nutrientes que ha acumulado el suelo. INTAGRI. Celaya, Guanajuato, México.

Enildo Osmani, A., González Oramas, G., Liriano González R., Veliz Alonso, J., Ost, P., y Monzón Cepero Z. 2017. Respuesta del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la combinación del fertilizante ecológico HerbaGreen con fertilizante químico. Artículo de investigación. Vol. 44. Centro agrícola. Universidad de Matanzas, sede Camilo Cienfuegos. Matanzas, Cuba.

HAIFA-Group. (20 de noviembre del 2021). Requisitos nutricionales de la papa. Guía de cultivos. <https://www.haifa-group.com/crop-guide/field-crops/crop-guide-potato/nutrients-growing-potatoes>

Ibarra Sifuentes, E., Ojeda Bustamante, W., Mendoza Pérez, C., Macías Cervantes J., Rueda Islas, J. R., Inzunza Ibarra M. A. 2013. Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del fuerte” Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 4. CIRNO-INIFAP. Campo experimental, Valle del Fuerte. Guasave, Sinaloa, México.

Lerna, A., Pandino, G., Lombardo, S., Mauromicale, G. 2011. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. *Agricultural Water Management* 101:35-41.

Larios Mejía, R., Santos Méndez, J., Pineda L. y Hernández S. 2013. Manual de producción de semilla de papa mediante técnicas de reproducción asexual. PYMERURAL. Tegucigalpa, Honduras. 39 p.

Luque Sainz., E. J. 2009. Nuevas variedades de papa en el norte de Sinaloa. Folleto técnico. Fundación Produce Sinaloa. Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

Meijer-potato. 2021. (02 de noviembre del 2021). Descripción de variedades de mesa. Citado en: <https://www.meijerpotato.com/es/variedades/variedades-de-mesa/orchestra/#Caracter%C3%ADsticas>

Mejía Méndez G., Castellanos Suárez J. A. 2018. Costos de producción y rentabilidad del cultivo de papa en Zacapoaxtla, Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Artículo, volumen 9. Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Departamento de Sociología Rural. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. México.

Montesdeoca, F., Panchi, N., Navarrete, I., Pallo, E., Yumisaca, F., Taipe, A., Espinoza, S. y Andrade Piedra, J. 2013. Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Centro Internacional de la papa (CIP), Consorcio de Productores de papa (CONPAPA), McKnight Foundation. Quito, Ecuador. 68 p.

Ozturk, E., Kavurmaci, Z., Kara, K., and Polat, T. 2010. The effects of different nitrogen and phosphorous rates on some quality traits of potato. Potato Res. 53:309-312.

Rocha Rodríguez, R. y J. A. Quijano Carranza. 2015. Producción de papa en México. Folleto técnico No. 1. SAGARPA-INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro, Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., México.

Román, M., y Hurtado, G. 2002. Guía Técnica del cultivo de papa. (en línea). Consultado: martes, 31 de octubre de 2021. Disponible en: <http://www.redepapa.org/roman.pdf>.

SAGARPA. 2003. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, Requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.

Santiago García, L. 2014. Evaluación de tres paquetes tecnológicos para la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) Cv. Fianna. Tesis de

Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

SNICS. 2018. Regla para la clasificación de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (SNICS). Universidad Autónoma Chapingo. Delegación Coyoacán, Ciudad de México.

Torres, H. 2002. Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú. SENASA. Centro Internacional de la Papa, (CIP). Lima, Perú.

Villanueva Verduzco, C. 2018. Regla para la calificación de la semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). SNICS-SAGARPA. Col. Del Carmen, Delegación Coyoacán, Ciudad de México.

White, P. J., Whcatley, R. E., Hammond, J. P. and Zhang, K. 2007. Minerals, soils, and roots. *In*: Vreugdenhil, D. (ed.). Potato biology and biotechnology, advances, and perspectives. Elsevier Amsterdam. 739-752 p.

Yara, México. (22 de noviembre del 2021). Nutrición vegetal papa. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/papa/influir-en-la-cantidad-de-tuberculos-en-papas>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Fotografías capturadas durante el desarrollo de la evaluación, ciclo P-V, Oyameles 2020. Producción de semilla de papa, variedad Orquesta.



