



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

**ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO DE DOS CULTIVARES DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) BAJO CULTIVO EN INVERNADERO**

**TESIS QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA FITOTECNISTA**

PRESENTA:

ADRIANA RAMÍREZ DÍAZ

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

ASESOR DE TESIS

DR. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, CERRILLO
PIEDRAS BLANCAS, TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO.,
MAYO 2022.**



ÍNDICE

ÍNDICE.....	II
ÍNDICE DE CUADROS	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCION	- 1 -
II. REVISION DE LITERATURA	- 4 -
2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	- 4 -
2.2 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE PAPA	- 4 -
2.3 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO DE PAPA	- 5 -
2.4 FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE PAPA	- 8 -
2.4.1 Plantación a emergencia	- 8 -
5.4.2 Crecimiento vegetativo	- 8 -
5.4.3 Inicio de tuberización	- 9 -
5.4.4 Llenado de tubérculos	- 9 -
5.4.5 Maduración de los tubérculos	- 9 -
2.5 IMPORTANCIA NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE LA PAPA	- 9 -
2.6 MANEJO DEL CULTIVO DE PAPA A CIELO ABIERTO.....	- 10 -
2.7 CULTIVARES DE PAPA	- 12 -
2.7.1 Atlantic	- 13 -
5.7.2 Asterix	- 13 -
2.7.3 Kennebec	- 14 -
2.7.4 Frital INTA	- 14 -
2.7.7 Alpha	- 15 -
2.8 PRINCIPALES PLAGAS DEL CULTIVO DE PAPA	- 15 -
2.8.1 Paratrioza	- 15 -
2.8.2 Pulgón de las Solanáceas (<i>Aulacorthum solani</i>)	- 16 -
5. 8.3 Mosca blanca	- 17 -
2.8.4 Nemátodos (<i>Meloidogyne spp.</i>, <i>Globodera rostochiensis</i>, <i>Globodera pallida</i>)	- 17 -
2. 8.5 Gallina ciega	- 17 -
2. 8.6 Gusano de alambre o Alfilerillo	- 18 -
2. 9 PRINCIPALES ENFERMEDADES	- 18 -
2. 9.1 Roña <i>Spongospora subterranea</i>	- 19 -
2.9.2 Tizón tardío o Mildiu (<i>Phytopthora infestans</i>)	- 19 -
2.9.3 Tizón temprano <i>Alternaria solani</i>	- 20 -
2. 9.4 Marchitez por <i>Fusarium</i>	- 20 -
2. 9.6 <i>Erwinia</i> (Pie negro o pudrición blanda)	- 21 -
5. 9.7 Enrollamiento de la hoja de papa	- 22 -
2. 9.8 Pudrición Anular (<i>Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus</i>)	- 23 -
III. MATERIALES Y METÓDOS	- 24 -
3.1 LOCALIZACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	- 24 -
3.2 RECURSOS BIOLÓGICOS	- 24 -

3.3. MANEJO DEL CULTIVO	- 24 -
3.3.1 <i>Esterilización del sustrato</i>	- 24 -
3.3.2 <i>Preparación de camas</i>	- 24 -
3.3.3 <i>Preparación para siembra del tubérculo (plantación)</i>	- 25 -
3.3.4 <i>Procedimiento para fertirriego</i>	- 25 -
3.3.5 <i>Aplicación de agroquímicos vía foliar</i>	- 25 -
3.3.6 <i>Procedimiento para cosecha de minitubérculos</i>	- 26 -
3.3.7 <i>Selección de tubérculos</i>	- 26 -
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y VARIABLES EVALUADAS	- 27 -
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	- 28 -
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	- 30 -
4.1 ANÁLISIS DE VARIANZA	- 30 -
4.2 DENSIDAD DE PLANTACIÓN.....	- 35 -
4.3 CULTIVARES	- 36 -
4.4 INTERACCIÓN DENSIDAD DE PLANTACIÓN (D) × CULTIVARES (C)	- 36 -
4.5 RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO Y LAS VARIABLES ÁREA FOLIAR, ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, NÚMERO DE TUBÉRCULOS PLANTA ⁻¹ Y PESO DE FRUTO.	- 37 -
V. CONCLUSIONES	- 40 -
VI. LITERATURA CITADA.	- 41 -

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Valores nutricionales en 100g de papa y peladas antes del consumo. Análisis contenido en papas con humedad de 23% y 87 kcal de energía. _____ - 10 -

Cuadro 2. Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro del tallo caulinar (DTC) y diámetro de la raíz (DR) para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). Primer muestreo que correspondió al trasplante. Verano de 2021. _____ - 34 -

Cuadro 3. Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro del base del tallo caulinar (DBTC), diámetro de la raíz principal (DRP), diámetro del tallo caulinar (DTC), diámetro del rizoma (DRI,) área foliar (AF) e índice de área foliar para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El segundo muestreo a los 30 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021. _____ - 34 -

Cuadro 4. Suma de cuadrados del análisis de varianza (ANDEVA) y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro de la base del tallo caulinar (DBTC), diámetro de la raíz principal (DRP), diámetro del rizoma (DRI), área foliar (AF) e índice de área foliar para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021. _____ - 35 -

Cuadro 5. Suma de cuadrados del análisis de varianza (ANDEVA) y su significancia para las variables diámetro del tallo (DT), número de tubérculos (NT), peso de tubérculos (PT), el rendimiento de tubérculos por hectárea (REN) y el rendimiento de tubérculos por plántula (RENPL) para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021. _____ - 35 -

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el primer muestreo que correspondió al trasplante. El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic _____	- 31 -
Figura 2. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el segundo muestreo a los 30 días después del trasplante (ddt). El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic. _____	- 32 -
Figura 3. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic. _____	- 33 -
Figura 4. Relación entre el el rendimiento de tubérculos por hectárea y el peso de los tubérculos (PT). _____	- 38 -

RESUMEN

La reproducción de semilla y su mejoramiento comienza con la selección de semilla básica, a partir de la cual se pueden realizar varios métodos de reproducción: selección clonal, multiplicación *in vitro*, reproducción de nódulos, microtubérculos y minitubérculos. Con la hipótesis de que el manejo de la densidad de plantación y el uso de diferentes cultivares pueden mejorar el rendimiento de minitubérculos. El objetivo de este estudio fue evaluar el área foliar y el rendimiento de dos cultivares industriales de papa bajo condiciones de invernadero, para determinar el cultivar con mayor potencial de rendimiento. Se evaluaron cuatro tratamientos, resultantes de la combinación de dos densidades de plantación y dos cultivares. El diseño experimental empleado fue completamente aleatorizado. Los datos se analizaron con análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La relación entre el rendimiento y las variables de estudio se estimó con regresiones lineales simples. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en la densidad de plantación y los cultivares de papa en todas las variables. Se presentaron diferencias significativas en número de tubérculos, peso de los tubérculos, rendimiento de tubérculos por hectárea y rendimiento de tubérculos por planta para la densidad de plantación. La interacción C \times D fue significativa en el peso del tubérculo y rendimiento. Por cada unidad de aumento en la variable el peso de los tubérculos, se incrementó el rendimiento del tubérculo. Se encontró una baja correlación entre las variables número de tubérculos, índice de área foliar, área foliar, número de folíolos, altura de la planta y el rendimiento. Es posible incrementar el rendimiento de los microtubérculos, si la plántula que se utiliza en el trasplante, tuviera un mejor sistema radical. Para mejorar el sistema radicular de la plántula, se pueden aplicar micorrizas, aminoácidos, enraizadores y micronutrientes en el trasplante.

Palabras clave: densidad de plantación, cultivares, microtubérculos, *Solanum tuberosum* L., rendimiento

ABSTRACT

Seed breeding and seed improvement begins with basic seed selection, from which several breeding methods are possible: clonal selection, in vitro multiplication, nodule breeding, microtubers and minitubers. It is hypothesized that the management of planting density and the use of different cultivars can improve the yield of minitubers. The objective of this study was to evaluate the leaf area and yield of two industrial potato cultivars under greenhouse conditions to determine the cultivar with the highest yield potential. Four treatments were evaluated, resulting from the combination of two planting densities and two cultivars. The experimental design was completely randomized. The data were analyzed with analysis of variance and the means of the treatments were compared with Tukey's test ($p \leq 0.05$). The relationship between yield and study variables was estimated with simple linear regressions. The results indicated that there were no significant differences in planting density and potato cultivars in all variables. Significant differences were present in number of tubers, tuber weight, tuber yield per hectare, and tuber yield per plant for planting density. The $C \times D$ interaction was significant in tuber weight and yield. For each unit increase in the variable tuber weight, tuber yield increased. A low correlation was found between the variables number of tubers, leaf area index, leaf area, number of leaflets, plant height and yield. It is possible to increase the yield of microtubers, if the seedling used in transplanting, had a better root system. To improve the root system of the seedling, mycorrhizae, amino acids, rooting agents and micronutrients can be applied at transplanting.

Key words: planting density, cultivars, microtubers, *Solanum tuberosum* L., yield.

I. INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.), fue introducida a Europa en 1580, procedente de América, siendo después diseminada por todo el mundo. Los primeros cultivos, se localizaron en las zonas más altas de los Andes sudamericanos, cerca del lago Titicaca, Perú (Leyva, 2021). La papa (*Solanum tuberosum* L.), es una planta herbácea anual que alcanza una altura promedio de un metro y produce tubérculos que tienen un abundante contenido de almidón (18,5%). La planta de papa forma tubérculos en días cortos y noches frías. En ella, cada brote tiene el potencial de tuberizar. Además de los rizomas, todas las yemas axilares en tallos o esquejes pueden formar un tubérculo, siempre que la planta haya sido inducida a tuberizar (Punina, 2013).

El cultivo de papa es básico en aquellas regiones donde las condiciones climáticas lo permiten, pues es característico de climas fríos, aunque se ha logrado su cultivo en climas tropicales, en los meses de invierno. El valor de la producción mundial en 2020, fue de aproximadamente 341 millones de toneladas en una superficie de 20 millones de hectáreas. Ocupa el cuarto lugar en producción mundial, después del trigo (*Triticum vulgare* Wuild.), el arroz (*Oryza sativa* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) (FAOSTAT, 2020).

A partir de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, en el cultivo de la papa en México, todavía tiene a la fecha, desventajas comparativas y competitivas respecto a factores productivos y de recursos que tienen los productores de EUA y Canadá. Después de quince años de la firma del TLCAN, las diferencias no han sido superadas. El libre comercio en América Latina y en particular en México, ha obligado a los productores de papa, a mejorar su competitividad, ser más eficientes, buscar nuevas fórmulas, vigilar sus costos de producción y adaptarse a las exigencias del mercado. Las diferencias en rendimiento del tubérculo y en inversión, es notoria entre los países firmantes de dicho tratado, por lo que la investigación debería enfocarse hacia la determinación de la competitividad y los costos que la determinan.

Los datos de producción de papa, en el Estado de México, indican que tiene gran importancia socioeconómica, ya que, en 2019, contribuyó con 166,094 toneladas, en una superficie sembrada de 5,530 hectáreas, con un rendimiento de 30.0 (ton/ha) aproximado de 1, 194 millones de pesos, lo cual lo ubica en quinto lugar nacional de producción, después de Sinaloa, Sonora y Nuevo León **(Olmo, 2020)**.

El potencial de producción en el cultivo de papa en el Estado de México, se estima con base a cambios de tecnología, principalmente en uso de nuevas variedades, manejo de campo y fertilización, lo cual se estima incrementaría los rendimientos hasta 50,0 o 75,0%. Respecto a los actuales niveles productivos de 22,5 t/ha, mismos que llegarían hasta 32,7 o 38,2 t/ha, y los costos de producción por tonelada se acercarían a los niveles económicos de los E.U. A. y Canadá con valores de 63.5 y 92.0 dólares **(Haro, 2019)**.

La reproducción de semilla y su mejoramiento comienza con la selección de semilla básica, a partir de la cual se pueden realizar varios métodos de reproducción: selección clonal, multiplicación *in vitro*, reproducción de nódulos, microtubérculos y minitubérculos. Dentro de los factores más importantes para obtener altos rendimiento en minitubérculo y mejorar su calidad física y sanitaria se encuentran: el genotipo, condiciones ambientales, radiación interceptada, estado fisiológico de los tubérculos empleados o de las plantas *in vitro*, la densidad de plantación y la nutrición. La nutrición de la papa en invernadero en México se hace mediante aplicación de fórmulas sólidas de NPK, aplicaciones foliares y el uso de soluciones nutritivas hidropónicas no específicas; por lo tanto, los rendimientos son bajos, muy variados e inconsistentes. En cuanto a los sustratos para la producción de semilla de papa en invernadero en México, se hace mediante sustratos orgánicos (fibra de coco, cascarilla de arroz y turba) e inorgánicos (tezontle, perlita, arena y gravas) y sus mezclas **(INTAGRI, 2017)**.

Debido a toda la variabilidad de factores antes mencionados, en la producción de tubérculo-semilla en invernadero, se tiene como resultado, la poca estabilidad de los resultados, lo que, aunado a las altas densidades empleadas, de 45 a 100 plantas m², reduce

el rendimiento por planta; por lo que es importante determinar las densidades de plantación óptimas y las variedades idóneas bajo las condiciones locales.

Esta investigación propone hallar densidades de plantación más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de cultivares de papa, bajo la hipótesis de que el manejo de la densidad de plantación y diferentes cultivares pueden mejorar el rendimiento del cultivo. El objetivo del estudio fue evaluar el área foliar y el rendimiento de dos cultivares industriales de papa bajo condiciones de invernadero.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución

El lugar de origen de la papa es la Cordillera de los Andes, en América del Sur. Hoy en día, se encuentra cultivada en varias partes del mundo (**Leyva, 2021**). En la India y China, el total de la producción aumentó de 16 millones de toneladas a casi 100 millones en 2007 (**Grepe, 2001**). A nivel mundial la producción de papa ha aumentado a un ritmo anual en América del Norte y Oceanía entre 1 y 2% por año; en Latinoamérica 3% por año; África y Asia 4% por año y en los países desarrollados, la producción total de papa creció más de un 100% (**INTA, 2001**).

2.2 Morfología de la planta de papa

En propagación asexual, la raíz o sistema radicular de la planta de papa es adventicia. La papa presenta un tallo caulinar y tallos laterales. Los tallos laterales, provienen de ramificaciones de los tallos principales y estos pueden ser sólidos o parcialmente tubulares. Los rizomas son ramificaciones laterales que crecen horizontalmente a partir de yemas de la parte subterráneas de los tallos caulinares; su longitud es uno de los caracteres varietales más importantes (**Lorenzo, 2000**). Los tubérculos son tallos modificados que se originan en el ápice de un rizoma. Los tubérculos constituyen los órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: basal ligado al rizoma que se llama talón y el extremo opuesto, que se denomina extremo apical o distal (**Quezada, 2008**). Los brotes vegetativos del tubérculo, crecen de las yemas que se encuentran, en los nudos de los tubérculos. Los brotes pueden ser blancos, parcialmente coloreados en la base o en ápice o totalmente coloreados. Cuando son directamente puestos a la luz, se tornan verdes (**Horton, 1992**). Los tubérculos son de forma oblonga, epidermis de color rosado intenso, sin color secundario, pulpa amarilla y con nudos bien distribuidos. La formación del tubérculo es consecuencia de la proliferación del tejido de reserva que estimula el aumento de células hasta un factor de 64 veces; el tubérculo de papa es el tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de los excedentes de energía (almidón) (**Cuesta, 2006**).

Las hojas son compuestas, imparipinadas, de color verde intenso, con tricomas en haz y envés, cuatro pares de folíolos primarios unidos por un peciolo, que se alternan con un par de hojuelas entre ellos. Las hojas carecen de hojuelas entre peciolos, el folíolo terminal es mediano, asimétrico, ovado con el ápice agudo y pseudo estípulas medianas. Folíolos secundarios pequeños, asimétricos, peciolados y un pequeño par de folíolos terciarios peciolados también. El raquis es pigmentado en la parte inferior y en la parte superior presenta dos canales en los cuales el pigmento se acentúa en el ángulo de inserción del peciolo con el raquis **(INIAP, 2011)**.

Las flores son abundantes a moderadas, inflorescencia cimosa con pedúnculo, presencia de hoja en formación en la base del ramillete floral. Cáliz: cinco sépalos morados con pigmentación verde, acuminado y pubescente. Corola: cinco pétalos, rotada, morada y tamaño medio. Estambres: anteras amarillas y largas. Pistilo: verde, con estigma más largo que las anteras. Con alta fertilidad como hembra o macho **(INIAP, 2011)**.

El fruto es una baya de forma redonda de uno a tres centímetros de diámetro, de color verde amarillento o castaño rojizo a violeta. La baya tiene dos lóculos de 200 a 300 semillas, que son ovoides o cónica alargadas. La semilla asexual, es un órgano de propagación masiva que mantiene sus características genotípicas y fenotípicas, también se conoce como minitubérculos **(Hidalgo, 2008)**.

A diferencia de otros cultivos, la papa se reproduce vegetativamente. Por lo tanto, una parte de la cosecha de cada año entre el 5 y 15 por ciento, dependiendo de la calidad de los tubérculos cultivados, se reserva para la temporada siguiente de siembra (tubérculos-semilla). La mayoría de los agricultores en los países en desarrollo seleccionan y almacenan sus propios tubérculos-semillas.

2.3 Requerimientos del cultivo de papa

El cultivo de papa se desarrolla bien en alturas mínimas de 460 hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm. **(INTAGRI, 2017)**. La papa es considerada generalmente como un cultivo de clima frío, pero

se adapta a temperaturas de zonas altas en latitudes tropicales, cuando se cultiva bajo condiciones templadas a cálidas, se producen alteraciones en la fisiología de la planta, que influyen en su adaptación y rendimiento potencial. El incremento de la temperatura tiene efecto acelerador sobre los procesos químicos, y con frecuencia los biológicos hasta alcanzar un óptimo en el cultivo de la papa (20 a 25 °C) **(INTAGRI, 2017)**.

La plantación y la temperatura del suelo debe ser superior a los 7°C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas. El frío excesivo perjudica especialmente a la papa, ya que los tubérculos quedan pequeños y sin desarrollar. Si la temperatura es demasiado elevada afecta a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades. **(Ramírez, 2016)**.

La temperatura no solo influye en la tasa de crecimiento de la planta y en su metabolismo, sino que también juega un papel importante en el control del desarrollo de la planta de papa. La temperatura alta (mayor a 20°C en la noche), inhibe la tuberización, pero son pocos los procesos de desarrollo controlados solamente por la temperatura y las repuestas a estas pueden ser modificadas por otros factores, particularmente por la luz ambiental. La combinación de días cortos con alta irradiación hace posible la tuberización bajo condiciones de temperatura con exigencias de fotoperiodo crítico largo. Las temperaturas altas del suelo y del aire tiene efectos diferentes en la tuberización: la temperatura alta de aire puede influir en el potencial de inducción para la tuberización, mientras que la expresión de síntomas de tuberización puede ser bloqueada por la temperatura alta del suelo, aun en el caso que las condiciones del aire favorezcan la tuberización **(INTAGRI, 2017)**.

Con la influencia de la temperatura alta en el crecimiento del follaje y desarrollo de la planta está el efecto directo en la fotosíntesis total y neta, las tasas de la fotosíntesis neta son óptimas sobre un intervalo de 16 a 25°C, mientras que para la fotosíntesis total se ha observado que la temperatura alta óptima ha sido hasta de 32°C además, las pérdidas en la respiración aumentan con el incremento de temperatura: aproximadamente se duplican por cada 10°C de incremento, cuando la temperatura es superior a 10°C, tanto es así, que a temperaturas superiores a 30°C, la tasa neta de fotosíntesis es mucho menor que a 20°C y a

temperaturas ligeramente mayores se puede alcanzar la temperatura de compensación, en la que la tasa de respiración es igual a la tasa de la fotosíntesis total **(Martín y Jeréz, 2015)**.

La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta a la maduración del tubérculo resulta nociva. Una humedad ambiental excesivamente alta favorece el ataque de Mildú **(Franco, 2002)**.

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, pero los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha. Sin embargo, se pueden alcanzar altas producciones en suelos con textura arcillosa al aplicar materia orgánica y regulando las frecuencias de riego. Suelos con una profundidad efectiva mayor 50 cm, son necesarios para permitir el libre crecimiento de estolones y tubérculos de la planta **(INTAGRI, 2017)**. La temperatura del suelo influye en la velocidad del crecimiento de los brotes y de las emergencias; los suelos fríos (debajo de 15°C) retardan la emergencia, y los suelos calientes la estimulan. La temperatura demasiado alta del suelo (temperatura nocturna sobre los 20°C) puede impedir la formación de los tubérculos. Como el caso de la humedad del suelo, por medio del ajuste de la profundidad de siembra, el cultivo de papa puede ser adaptado a las condiciones existentes de temperatura **(Ramírez, 2016)**.

El pH obtenido para esta solanácea es de 5.5 a 7; la cantidad de sales debe ser del 2% para que el suelo no forme costras. La papa está clasificada como altamente tolerante a la acidez, teniendo valores de pH de 6.5 a 5.5. es una hortaliza con tolerancia a la salinidad, con valores de 64 000 a 2560 ppm. **(La Torre, 2012)**.

El cultivo requiere bastante luminosidad. Además, la luminosidad de las plantas afecta directamente en los procesos fotosintéticos, dando origen a una serie de reacciones secundarias entre las que intervienen agua y CO₂, los cuales ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares, que a su vez forman parte de los tubérculos. La cantidad de luz necesaria varía según la temperatura, por lo que, para una óptima producción, la papa requiere

de periodos aproximadamente de 8 a 12 e incluso 16 horas de luminosidad (20,000 a 60,000 Lux) según la variedad cultivada. La cantidad de luz tiene gran influencia en la tuberización de la papa y duración del crecimiento vegetativo. Días cortos favorecen el inicio de la tuberización y acortan el ciclo vegetativo, en cambio días largos tienen el efecto inverso. (INTAGRI, 2017).

2.4 Fenología del cultivo de papa

Los estados de desarrollo o fases fenológicas del cultivo de papa, según (Sierra y col 2002) son las que se mencionan a continuación.

2.4.1 Plantación a emergencia

El estado de plantación a emergencia dura entre 15 a 30 días, dependiendo de la humedad, temperatura del suelo, y grado de brotación de los tubérculos. Se debe realizar control de malezas y favorecer rápida emergencia de los tallos, porque son menos susceptibles a rizoctonia cuando se ha formado tejido verde. Se recomienda sembrar con suelo húmedo, mantener humedad adecuada, para evitar proliferación de hongos.

5.4.2 Crecimiento vegetativo

Burgos et al., (2013) mencionan que en la etapa de crecimiento del cultivo dura entre 45 y 50 días, se inicia formación de hojas y tallos en la parte aérea, mientras que en el suelo se inicia formación de raíces y estolones. En esta etapa comienza la absorción de nutrientes, y es cuando la planta se independiza del tubérculo en cuanto a la nutrición. En esta etapa se debe aplicar la segunda dosis de Nitrógeno, generalmente un tercio de la dosis total junto con el aporque. Esto no debe aplicarse más allá de 90 días después de la plantación, además se debe aplicar herbicida cuando el cultivo recién esté emergiendo. Es recomendable primero aplicar tempranamente herbicida de preemergencia y luego de tres semanas aporcar con plantas entre 15 y 20 cm de altura. Esto evita el verdeo de los tubérculos superficiales y además permite realizar un nuevo control de malezas.

5.4.3 Inicio de tuberización

Es un período corto de 10 a 14 días de duración, en la cual se inicia la formación de tubérculos. En el inicio de la tuberización se debe monitorear sacando plantas y examinando los estolones. En la mayoría de las variedades el fin de este estado de crecimiento coincide con el inicio de la floración. También se recomienda al inicio de floración el muestreo de pecíolos para diagnóstico foliar. El resultado del análisis de pecíolos puede sugerir la aplicación de micronutrientes

5.4.4 Llenado de tubérculos

Después de terminado el proceso de tuberización, se inicia el llenado de los tubérculos, esto ocurre continuamente en el tiempo, por lo tanto, en este estado se deben proveer todas las condiciones para lograr el óptimo crecimiento de los tubérculos. Particular importancia cobra el adecuado suministro de agua, nitrógeno y potasio. La mayor parte de todos los nutrientes absorbidos ocurre en esta etapa.

5.4.5 Maduración de los tubérculos

Este período se inicia con la senescencia de tallos y hojas, este proceso es lento pero sostenido en el tiempo. En muchas variedades este proceso culmina con la caída de las plantas. Sin embargo, después de la caída, el tejido aéreo puede mantenerse parcialmente verde y activo. Una madurez definitiva de los tubérculos se logra cuando gran parte de los tallos y hojas están secos y los tubérculos presentan piel firme.

5.5 Importancia nutricional del cultivo de la papa

La papa es un alimento versátil y tiene gran contenido de carbohidratos, es popular en todo el mundo, se prepara y sirve en una gran variedad de formas. Recién cosechada, contiene un 80% de agua y un 20% de materia seca. Respecto a su peso seco, el contenido de proteína de

la papa es análogo al de los cereales, y es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos. La papa tiene abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C, fomenta la absorción de este mineral además este tubérculo tiene vitaminas B1, B3 y B6 y otros minerales como potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico, contiene una cantidad de hierro, y rivotravina (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Valores nutricionales en 100g de papa y peladas antes del consumo. Análisis contenido en papas con humedad de 23% y 87 kcal de energía.

Nutrientes		Nutrientes	
Riboflavina	0.02 mg	Vitamina C	13.0 mg
Tiamina	0.106 mg	Proteína	1.87 g
Niacina	1.44 mg	Grasas	0.1 g
Hierro	0.31 mg	Fibra	1.8 g
Fosforo	44 mg	Carbohidrato	20.13 g
Potasio	379 mg	Calcio	5 g

Además, contiene antioxidantes alimentarios, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento, a más de esto fibra, cuyo consumo es bueno para la salud (**López y Fernández 2012**).

5.6 Manejo del cultivo de papa a cielo abierto

La papa presenta un sistema radicular muy ramificado, que llega a 90 cm de profundidad y, puede extenderse hasta 40 cm en la cobertura horizontal. Por ello, se requiere se suelos profundos, no salinos, bien drenados, con buena estructura y retención de agua. Los lotes más adecuados son aquellos que entran en rotación con ganadería o una rotación de no menos de 5 años (**Huarte y Capezio 2013**).

El cultivo de papa es uno de los cultivares más exigentes, las principales operaciones para la preparación de la tierra son: el barbecho, el rastreo y la nivelación del terreno. El Barbecho

consiste en roturar el terreno. El suelo debe ser suave, profundo y mullido, esto para que las hortalizas tengan un buen desarrollo. El barbecho se realiza con un arado mecánico, manual o por tracción animal, se rotura la tierra a la mayor profundidad posible, se comendando una mínima de 30 a 40 cm.

El arado se realiza unos dos meses antes de la siembra. Consiste en la roturación de la capa superficial, a fin de aflojar el suelo e incorporar los residuos vegetales y controlar malezas. Se aconseja un período de 15 a 30 días entre aradas a fin de permitir una adecuada descomposición de los residuos vegetales. La profundidad aproximada de la arada es de 30 cm. **(La Torre, 2012).**

El rastreo consiste en eliminar todas las raíces de las malezas. Involucra pases cruzados del campo para desmenuzar los terrones del suelo, a fin de obtener una cama superficial suelta, de 10 a 20 cm de profundidad **(FAO, 2008)**. Los implementos utilizados para realizar estas labores pueden ser: cultivadores con púas rectas; cultivadora recíprocante; rotavator; y rastra de discos. Todos estos implementos tienen la función de disminuir el tamaño de los terrones

El surcado se debe realizar un día antes de la siembra con el fin de mantener la humedad en el terreno. La distancia entre surcos está determinada por: la topografía del terreno; la costumbre local; los implementos disponibles; y el hábito de crecimiento de la variedad sembrada **(SIAP, 2012)**. En terrenos inclinados se debe seguir las curvas de nivel o trazarlos perpendiculares a la pendiente. Los surcos deben tener una gradiente del 2% y su profundidad puede ser de 10 a 15 cm. Como regla general las variedades nativas requieren de surcos más anchos que las variedades mejoradas **(La Torre, 2012)**.

Antes de sembrar es necesario realizar el combate de ciertas plagas del suelo, en lugares donde existen problemas **Torres et al., (2011)**. El tener una buena siembra influye en el éxito del cultivo de la papa. La siembra correcta asegura una emergencia rápida y uniformidad del cultivo. Un cultivo uniforme hace más fáciles las labores culturales y permite la identificación visual de plantas enfermas **(FAO, 2008)**.

La profundidad de la siembra depende de la humedad y temperatura del suelo, del tamaño de los tubérculos y sus brotes. Cuando hay suficiente humedad, los tubérculos deben ser tapados con una capa de 5 cm de tierra. En terrenos secos se recomienda taparlos con una capa de 8 a 12 cm de tierra (**Punina, 2013**).

La distancia de siembra depende de la variedad, las condiciones de crecimiento y el tamaño deseado de los tubérculos a la cosecha (tubérculos medianos a grandes para consumo y procesos industriales; tubérculos pequeños destinados a semilla y congelados). Tradicionalmente, la densidad de un cultivo se ha expresado como número de plantas por unidad de área. Sin embargo, en el cultivo de papa cada planta proveniente de un tubérculo que forma un conjunto de tallos, cada uno de los cuales forma raíces, estolones y tubérculos. Como resultado, la densidad efectiva de una parcela de papa equivale a la densidad de plantas multiplicada por la densidad de tallos (**Lourdes, 2011**).

La distancia entre surcos puede ser de 0.90 a 1.20 m, dependiendo del cultivar. Si es de origen *tuberosum*, como INIAP-Fripapa e INIAP-Margarita, la distancia debe ser menor; si es de origen *andigena*, como Superchola la distancia debe ser mayor (recomiendan distancias de 0.15 a 0.60 m entre plantas, y distancias de 0.90 a 1.60 m entre surcos). Se recomiendan distancias de 0.30 a 0.50 m entre plantas, y distancias de 1.00 a 1.20 m entre surcos. En la producción de semilla se recomienda distancias de 1 m entre surcos y 0,25 m entre plantas (**Lourdes, 2011**).

5.7 Cultivares de papa

En general, las variedades de papa que son cultivadas para consumo humano se pueden clasificar de acuerdo al color y tipo de cáscara: a) variedades para consumo fresco: Alpha, Adora, Bintje, Cardinal, Diamante, Escord, Felsina, FL1867, Furore, Greta, Giant, Mundial, Prevalent, Procura, entre otras y b) variedades para uso industrial: Atlantic, FL 1867, Fianna, Snowden y Lady Rosetta (**Jesus, 2013**).

Hay dos características muy importantes de la papa que son consideradas para su proceso industrial, se trata del porcentaje total de sólidos y del contenido de azúcares reducidos de los tubérculos. Éstos consisten en su mayor parte de almidón y el rango de variación típico del porcentaje de sólidos (PS) es de 17 a 23 por ciento para la mayoría de las variedades que son cultivadas en Dakota del Norte, Estados Unidos. El porcentaje de sólidos (PS) puede reducirse por una aplicación de riegos demasiado frecuentes o también por la aplicación excesiva de nitrógeno (N), porque los azúcares reductores son los causantes del efecto de oscurecimiento de las papas durante el proceso de freído. (Jesus, 2013).

2.7.1 Atlantic

Atlantic originaria de un cruzamiento realizado en USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos) desde el año de 1976 entre los padres Wauseon y el clon B5141-6. Atlantic tiene tubérculos ovalado y redondo con cascara blanca y pulpo blanco. La planta es mediana a grande, erecta con hojas grandes, y la planta crecen muy rápida. Las flores son lavanda. Atlantic tiene rendimiento potencial alta, gravedad especifica alta y su madurez es media o 100 a 110 días. Su mercado es excelente para hojuelas o papas fritas y mercado fresca. Atlantic tiene resistencias contra tizón tardío, nematodo dorado, PVX (Inmune), necrosis reticulada del tubérculo, sarna común, verticilo y verruga. Tiene susceptibilidades a necrosis de calor, corazón vacío y sequía. Almacenamiento: su reposo es mediano y mantiene su color y hay que almacenarlas no muy frío para evitar problemas de reducción de azúcre que producen hojuelas negras. Use 100 a 120 unidades de nitrógeno aplicada temprano porque su crecimiento es rápido. No se deje a secar muy cuando la planta es desarrollando (Kalazich, 2012).

5.7.2 Asterix

Su origen Holanda. (Cardinal x SVL VE 70-9). Inscripta en Argentina el 26/09/2000 por Alimentos Modernos S.A. tiene numerosos tubérculos ovales y alargados, con piel roja, carne amarilla, ojos superficiales, rendimiento alto, madurez semitardía, bastante resistente a daños mecánicos, resistencia moderada a *Phytophthora infestans*. Buen contenido de materia seca,

buena para cocción y papas fritas en bastones. Buena calidad de conservación (**Kalazich, 2012**).

2.7.3 Kennebec

Su origen USA, 1948. (Chippewa x Katahdin) x (Earlaine x 3895-13). Inscrita en Argentina el 03/07/1987. Los tubérculos son oval redondeados, tamaño grande, piel amarillo clara, carne blanca, ojos semiprofundos, rendimiento alto, maduración semitremprana a semitardía, sensible a PVLRL y PVX, poco sensible a PVY y Phytophthora infestans, medianamente sensible a Sarna Común. Baja a media materia seca, buena para bastones y pure (**Fabricio, 2015**).

2.7.4 Frital INTA

Su origen es de Argentina. (Serrana INTA x Katahdin). Inscrita el 12/08/1993 por INTA Balcarce. Los tubérculos son oval alargados, piel lisa, ojos superficiales, carne blanca, buen calibre, rendimiento alto, buena resistencia a virosis. Alta materia seca. Buena para hervido, puré y papa frita en bastones (**Fabricio, 2015**).

2.7.5 Innovator

Su origen es de Holanda, proviene de la cruce entre Shepody con RZ-84-2580. Los tubérculos son oblongos a alargados, la piel blanca es amarilla rugosa, la carne es de color crema, los ojos son superficiales y muy bien distribuidos, el tamaño es grande. Presenta alto rendimiento, maduración tardía, resistencia a sarna común, PVX, PVY y PLRV. Es susceptible a Top Necrosis y a Alternaria, no tolera el herbicida Metribuzín en post-emergencia. Con respecto a la calidad culinaria, es de bajo contenido de materia seca y muy buena para papa en bastones (**Gil, 2019**).

5.7.6 Diamante

Generada por Germán Bastidas. Proviene de los cruzamientos realizados con las variedades Esperanza 450 x Rubí. Liberada en el 2000. Planta vigorosa de 7 a 8 tallos por planta fuertes y gruesos, hojas anchas y rugosas, flores de color lila y frutos de bajo número y de gran tamaño, con tubérculos de un periodo de dormancia de 45 días. Maduración de 150-180 días con rendimientos de 50 a 75 t/ha (**Montesdeoca, 2011**).

2.7.7 Alpha

Esta variedad viene de Hollando desde el año 1925 Alpha tiene un tubérculo ovalado con cascara amarilla y pulpa amarilla ligera. La planta es mediana y extendida y tiene malvas flores. Alpha tiene un rendimiento alto con gravedad especifica media. Su mercado es uso de mesa y para hervir. Su madurez es muy tardía o 130 a 140 días. La planta resista: sequía, calor, mal trato, Tizón tardío, sarna común. Alpha es susceptible a: enrollamiento de hoja y PVY. Almancenamiento: dura bastante tiempo con poco brotación. Use bajo nitrógeno (**Radtke, 2010**).

2.8 Principales plagas del cultivo de papa

2.8.1 Paratrioza

La paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc) es un insecto que pertenece de la orden hemíptera de la familia Triozidae. Se le conoce como: pulgón saltador, psílido de la papa, psílido del tomate, salerillo, entre otros (**Bayer CropScience, 2005**). Se encuentra ampliamente distribuido en regiones productoras de cultivos de Solanáceas (papa, tomate, chile, berenjena, tomate de cáscara) y su importancia radica en el daño directo que provoca al succionar la savia de las plantas e inyectar toxinas, además posee amplia capacidad para transmitir enfermedades que se asocian a la punta morada de la papa, permanente del tomate y amarillamiento por psílicos. Es vector de virus y fitoplasmas, y últimamente se ha

relacionado con la transmisión de la bacteria (*Candidatus liberibacter solanacearum*) asociada con la enfermedad en papa conocida como Zebra chip (**Garzón et al, 2007**).

Los daños directos son ocasionados principalmente por las ninfas, debido a la inyección de toxinas, inducen síntomas de amarillamiento, achaparramiento de la planta, deformación de hojas, entrenudos cortos y engrosados, senescencia prematura, y la secreción de mielecilla favorece la incidencia de hongos patógenos. Todo lo anterior lleva a una disminución significativa de los rendimientos (**Garzón et al, 2007**).

2.8.2 Pulgón de las Solanáceas (*Aulacorthum solani*).

Los pulgones tienen un ciclo de vida complejo, los adultos pueden contar con alas como sin las mismas y presentarse en una gran variedad de colores. Si la reproducción es asexual, los pulgones jóvenes nacen como ninfas desarrolladas, que empiezan a comer inmediatamente la savia de la planta y crecen con rapidez. Si la reproducción es sexual, los pulgones ponen huevos que invernan. En los invernaderos, la reproducción también tiene lugar mediante partenogénesis, con hembras vivíparas no fertilizadas que siguen produciendo nuevas generaciones de hembras. Los pulgones mudan cuatro veces antes de alcanzar la madurez, al perder la piel blanca delatan su presencia en el cultivo. Las hembras aladas son de color amarillo-verde, con una cabeza marrón y un tórax oscuro, teniendo un abdomen oscuro con bandas horizontales de color claro a oscuro. La forma del cuerpo es similar a la de las hembras sin alas, pero mide 2.0-3.0 mm de largo (**Koppert, 2006**).

El daño directo es provocado por la inyección de una toxina, la cual es transmitida únicamente por las ninfas. Esta toxina ocasiona que las plantas se vean amarillentas y raquíticas, afectando el rendimiento y la calidad de frutos y tubérculos. El daño indirecto es considerado más importante que el daño directo, ya que es ocasionado por los fitoplasmas, los cuales son transmitidos tanto por las ninfas como por los adultos. Para el control de los pulgones, existen tanto métodos culturales, como biológicos y químicos. Existen enemigos naturales como avispa, hongos, crisopa, chinita entre otros, los cuales detiene o afectan su desarrollo (**Pro.com, 2015**).

5. 8.3 Mosca blanca

Es un insecto chupador, siendo la especie *Bemisia tabaci* la más difundida, distribuida prácticamente en toda la zona central y costera del país, en altitudes que van de 0 a 8 msnm. Ambas especies duran en estado de huevo de cinco a diez días puesto sobre el envés de las hojas y las ninfas de 12 a 28 días. El adulto mide de 1 a 2mm de largo, de color lanco con dos pares de alas es muy activo y ágil, volando rápidamente de sus sitios de alimentación, propagando los virus a las plantas sanas

El uso de trampas amarillas con aceite o pegamento las cuales deben de ponerse a una altura de 0.25 a 0.75 m, dependiendo del tamaño del cultivo. La aplicación con productos químicos debe realizarse cuando se encuentren 15 moscas blancas por planta, recomendándose el uso de insecticidas con diferentes ingredientes activos y en forma alterna. Dentro de los insecticidas recomendados están: Acetamiprid en dosis de 0.37 a 0.5 kg por hectárea; Imidacloprid en dosis de 0.21 a 0.36 kg por hectárea (**Motessro, 2010**).

2.8.4 Nemátodos (*Meloidogyne* spp., *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*).

Los nemátodos son animales microscópicos con forma de gusano delgado. Las plantas afectadas presentan síntomas parecidos a los causados por deficiencias de agua o elementos nutritivos. En las raíces y dependiendo de la especie se forman agallas o nódulos, o bien se observan diminutos quistes esféricos de color blanquecino a marrón. El control preventivo, además del uso de semilla sana y variedades resistentes, consiste en realizar rotaciones amplias de cultivo, incluyendo cereales en la rotación. También es eficaz dejar el terreno en barbecho, practicando laboreo y aportando materia orgánica (**Trujillo y Perera, 2009**).

2. 8.5 Gallina ciega

El daño lo provocan las larvas al alimentarse de las raíces de las plantas de maíz, papa y agave entre otros cultivos que en casos de ataque muy severos pueden llegar a matar la planta y afectar de manera muy significativa el rendimiento del cultivo. El daño se manifiesta como

marchitamiento, mal desarrollo y acame. El uso de diferentes medidas de control en el momento indicado son la mejor herramienta para controlar esta plaga. La siembra de cultivos en meses bien definidos, la eliminación de plantas hospederas, así como una buena preparación del terreno y el uso de insecticidas biológicos son medidas eficientes antes del uso de insecticidas químicos. Los insecticidas químicos son comúnmente utilizados por su rapidez de acción, su eficacia y por su espectro de control (**Gutierrez, 2014**).

2. 8.6 Gusano de alambre o Alfilerillo

Son larvas que viven en el suelo de dos a cinco años, alimentándose de las partes subterráneas de una amplia gama de plantas. Son alargadas, brillantes, amarillo anaranjadas, de unos 20 mm de longitud. en su máximo estado de desarrollo. Los daños se observan cuando muerden las pequeñas raíces y el hipocótilo. Las larvas tienden a estar cerca de la superficie del suelo, pero evitan el calor, y buscan la humedad. Los daños son especialmente graves cuando se cultiva remolacha detrás de roturas de alfalfa o praderas (**Noriega, 2015**).

El gusano de alambre es sensible a las altas temperaturas y al ambiente seco, por lo tanto, se recomienda realizar un laboreo de la tierra en los meses de verano y los huevos quedan al descubierto. Aplicar feromonas para captura de adulto: Se conseguirá con el paso de los años ir reduciendo las poblaciones de gusano de alambre. Se aconseja realizarlo en parcelas grandes (**Noriega, 2015**).

2. 9 Principales enfermedades

El cultivo de la papa es afectado por numerosas especies de hongos y bacterias que causan enfermedades en la planta o en los tubérculos afectando, de esta manera, su producción y calidad en la temporada de la cosecha.

2. 9.1 Roña *Spongospora subterranea*

La roña es una de las enfermedades que daña al mismo tubérculo hasta un 97.5% llenas de pústulas, su severidad se debe a los daños de infección del suelo y de las condiciones de humedad y la temperatura en el suelo generándose por las lluvias, cabe recalcar que el daño solo se enfoca en los tubérculos mas no en el rendimiento (**Amm, 2020**). La roña en las raíces muestra como agallas o tumores lisos, de 0.5 a 1.5 cm de tamaño y de forma más o menos irregular, al inicio los tumores son de color blanquecino y cuando alcanzan la madurez fisiológica se vuelven oscuros, debido al color marrón de las paredes de los esporangios de descanso. La infección de la roña en los estolones ocurre paralelamente a la infección de las raíces y los síntomas son similares a lo de las raíces, pero las agallas son más pequeñas. La roña en la papa se muestra como pústulas que son inicialmente lisas, de color blanquecino y de 2 a 3 mm de diámetro. Las pústulas a manera de ampollas continúan desarrollándose hasta alcanzar aproximadamente 1 cm de diámetro y cuando esto ocurre se vuelven oscuras (**Amm, 2020**).

2.9.2 Tizón tardío o Mildiu (*Phytophthora infestans*)

Es una de las enfermedades más importantes del cultivo de papa a nivel mundial. Está presente en casi todas las áreas donde se cultiva papa en el mundo, provocando mayores pérdidas en zonas templadas y húmedas. El tizon tardío afecta hojas, tallos y tubérculos. Los principales síntomas aparecen en las hojas inferiores, con pequeñas manchas acuosas de color verde oscuro. Bajo condiciones de alta humedad, estas lesiones se expanden rápidamente formando zonas cafés atizonadas irregulares. Para el control de la enfermedad se puede emplear: a) uso de semillas sanas; b) tratamiento de semilla para proteger semilla sana; c) mantener una buena cobertura de los tubérculos con aporque y d) tratamiento químico al follaje (**Ivette y Mondiu, 2010**).

2.9.3 Tizón temprano *Alternaria solani*

Ataca principalmente el follaje de la papa, pero también ataca los tubérculos. La enfermedad es un problema importante en muchas áreas que son muy calientes o secas para que se presente el tizón temprano, otra enfermedad fungosa, causado por *Phytophthora infestans*. Se manifiestan inicialmente sobre las hojas inferiores en la forma lesiones necróticas de tamaño pequeño. Las nervaduras limitan el desarrollo de la lesión lo que les da una apariencia angular. Las primeras lesiones ocurren en el periodo de floración (**Otiniano, 2017**).

Debido a que el desarrollo del tizón temprano está relacionado con el vigor y la maduración del cultivo, el manejo agronómico para estimular el vigor y evitar la senectud rápida del follaje y la debilidad de la planta, ayuda a reducir la incidencia de la enfermedad. Ya que las variedades de maduración precoz contribuyen a que se presenten graves diseminaciones secundarias y de esporas, la siembra debe ser organizada de tal manera que las esporas que lleva el viento no pasen de las variedades precoces a las tardías. Aunque este patógeno es capaz de persistir de una campaña a otra no puede sobrevivir periodos más largos (**Otiniano, 2017**).

2. 9.4 Marchitez por *Fusarium*

El marchitamiento por fusarium de la papa es una enfermedad desagradable pero común que ingresa a las plantas de papa a través de las raíces, lo que restringe el flujo de agua a la planta. El primer signo de las papas con marchitez por fusarium es el amarilleamiento de las hojas, seguido de marchitamiento, enrollamiento o rizado, que a veces afecta a las hojas de un solo lado de la planta. Los síntomas de la marchitez por fusarium comienzan en la parte inferior de la planta y eventualmente suben por el tallo (**Ivette y Mondiot, 2010**).

En suelos infectados debe evitarse la rotación de cultivos con chile, jitomate y berenjena, los cuales son igualmente susceptibles. El uso de nitrógeno amoniacal aumenta la severidad de la enfermedad, lo mismo que los suelos arenosos y ácidos. Los riesgos de infección

sistémica se pueden reducir con tratamientos químicos a la semilla antes de la siembra (**Ivette y Mondiot, 2010**).

2.9.5 Sarna común

La sarna de la papa es una enfermedad que produce una disminución de la calidad del tubérculo debido a la apariencia sarnosa que éstos toman cuando se encuentran afectados. El organismo causal de esta enfermedad es la bacteria *Streptomyces scabies*. Los síntomas de esta enfermedad se presentan como lesiones corchosas irregulares, de color café, de tamaño variable y que se desarrollan en cualquier lugar de la superficie del tubérculo. A veces los síntomas consisten en una capa superficial de tejido corchoso que cubre gran parte de la superficie del tubérculo. Lesiones ocasionadas por sarna común (russet), a veces son de hasta 1cm de profundidad, café oscuras con el tejido bajo la lesión de color café claro y translúcido (sarna profunda). Los síntomas se desarrollan durante la estación de crecimiento, pero el período de infección ocurre cuando el tubérculo se está formando. Pocas semanas después de la infección aparecen en el tubérculo en crecimiento pequeñas lesiones circulares acuosas (**Patricio y Gaete, 2003**).

Dentro de las medidas de prevención para la sarna de la papa existen: a) mantener un apropiado nivel de humedad en el suelo mediante riego; b) plantación de tubérculos sanos; c) rotaciones de cultivos más largas (con leguminosas) d) desinfección de tubérculos semillas; e) uso de variedades con algún nivel de resistencia al patógeno; f) incorporación de avena como abono verde; g) cosechar inmediatamente cuando los tubérculos alcancen madurez; h) fertilización con azufre i) no usar abonos en descomposición (**Patricio y Gaete, 2003**)

2. 9.6 Erwinia (Pie negro o pudrición blanda)

El pie negro y las pudriciones blandas son causadas principalmente por las bacterias *Erwinia carotovora* spp. *carotovora* (Ecc) y *Erwinia carotovora* spp. *atroseptica* (Eca), aunque también otras bacterias están presentes. La pudrición se inicia por este complejo de

bacterias, las cuales son sucedidas por otras más adaptadas. Los síntomas de la enfermedad ocurren en cualquier estado de desarrollo de la planta. Los tallos infectados muestran una pudrición de color negro, la cual generalmente se inicia con la pudrición del tubérculo y se extiende hacia arriba por el tallo. Las plantas afectadas detienen su desarrollo y presentan un crecimiento recto y envarado. El follaje se vuelve clorótico (amarillento), los folíolos tienden a enrollarse hacia arriba, luego se marchitan y mueren (**Patricio y Gaete, 2003**).

Los tubérculos provenientes de plantas infectadas pueden manifestar síntomas que varían desde una ligera decoloración vascular al extremo del estolón, hasta una pudrición que compromete todo el tubérculo. El tejido del tubérculo afectado por pudrición blanda es húmedo, de color crema o canela y consistencia blanda, fácilmente separable del tejido sano. A medida que avanza el daño adquiere un olor desagradable debido a la presencia de organismos secundarios (**Patricio y Gaete, 2003**).

Entre las principales medidas de prevención destacan: a) manipulación cuidadosa durante la cosecha, transporte y almacenaje. No cosechar tubérculos a altas temperaturas de suelo (sobre 20°C), ya que en bodega estos transpiran generando condensación, proporcionando condiciones para el ataque de enfermedades; b) suberización (madurez) y secado apropiado de los tubérculos c) usar tubérculos-semilla libres de *Erwinia* (semilla certificada o de calidad e) evitar el exceso de humedad, puesto que se favorece la invasión de bacterias por falta de oxígeno (**Patricio y Gaete, 2003**).

5. 9.7 Enrollamiento de la hoja de papa

El virus del enrollamiento de la hoja de papa (PLRV) ocasiona la enfermedad viral más importante que se trasmite en el cultivo de la papa. Los síntomas primarios se manifiestan después que las plantas han sido picadas por áfidos virulíferos y se hacen evidentes en las hojas jóvenes, las cuales se muestran erectas, enrolladas y pálidas. Los síntomas primarios pueden dejar de manifestarse en caso de producirse infecciones tardías. Los síntomas secundarios se hacen evidentes al momento en que la planta brota a partir de un tubérculo infectado. En general las hojas se ponen rígidas y coriáceas, se secan y cuando se estrujan

producen un sonido crocante como de papel. Los síntomas de PLRV incluyen el característico habito erecto y el enrollamiento hacia adentro de las hojas, clorosis o enrojecimiento, hojas con textura coriácea, necrosis del floema, enanismo de la planta, y necrosis en los tubérculos (**Otiniano, 2017**).

Las medidas de prevención para la enfermedad son: a) selección clonal b) siembra de tubérculos libres de virus (programa de certificación de semillas); c) cosecha adelantada; d) descarte de plantas infectadas; e) extracción y destrucción de plantas voluntarias (saneamiento), dentro y en los alrededores del campo de cultivo; e) control de áfidos con insecticidas (**Otiniano, 2017**).

2. 9.8 Pudrición Anular (*Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus*)

La enfermedad está sujeta a fuerte reglamentación cuarentenaria en la mayoría de los países productores de papa. La infección ocurre a través de las heridas y se multiplica en los tejidos vasculares de los tallos y estolones y tubérculos. Un tubérculo enfermo es capaz de infectar a 100 0 200 tubérculos durante el proceso de corte de semilla. Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en las hojas inferiores durante el último tercio del ciclo de cultivo y se manifiestan por una clorosis intervenal. Las áreas cloróticas mueren adquiriendo una tonalidad rojiza a semejanza de un tizón. Finalmente, la porción enferma de la planta se marchita y muere. La forma más eficiente de control es el uso d semilla sana. En el campo es conveniente eliminar las plantas enfermas matándolas (**Motessro, 2010**).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de área de estudio

El ensayo se efectuó en 2021 bajo condiciones de invernadero en el municipio de Santa María Rayón, Estado de México, el cual se ubica en 19° 09' 92" N, 99° 34' 42" O y 2,600 m de altitud. El clima es semifrío-subhúmedo, que se caracteriza por una temperatura media anual de 4°C a 12°C. La precipitación pluvial anual es 800 mm, con lluvias en verano y menos de 200 mm de precipitación en invierno (**Ortiz, 2009**).

3.2 Recursos biológicos

Se emplearon plántulas de papa (*Solanum tuberosum* L.) de los cultivares Atlantic y FL1867, que se adquirieron en la zona de influencia agrícola de Santa María Rayón, Estado de México.

3.3. Manejo del cultivo

3.3.1 Esterilización del sustrato

Se depositó el sustrato (cascarilla de arroz, agrolita y fibra de coco) en el cubo de esterilización. Se colocó un termómetro para checar que la temperatura llegará a 92°C y se dejó el sustrato durante veinte minutos.

3.3.2 Preparación de camas

Para la esterilización de la cama, se aplicó una solución de agroquímicos sobre el piso de la cama y en la parte de plástico negro que forma la parte interna de la misma. El sustrato esterilizado se vació en la cama ya desinfectada, con un rastrillo que expandió el sustrato para formar camas con una profundidad de 30 cm. Se prepararon quince camas por cultivar.

3.3.3 Preparación para siembra del tubérculo (plantación)

Se humedecieron las camas con agua de pozo, usando la manguera de riego, hasta lograr una humedad homogénea, a capacidad de campo. La plántula se aclimató bajo malla sombra de 70%. Se colocó la malla sombra a una altura de 1.80 m sobre las camas. La aclimatación duró 3 días antes de la plantación. Para la plantación se sumegó la raíz de la plántula en el polvo de enraizador. Sin romper el tallo de la plántula, se ingresó el propágulo en el hoyo generado anteriormente con la planilla.

Se colocó la plántula lo más profundo posible, dejando fuera del sustrato solo el último nudo de ella (las últimas 2 -3 hojas). Al terminar la siembra de la cama, a más tardar en 2 días se colocó las cintillas de riego. La distancia entre planta y planta fue de 11 cm y 15 cm. para cada uno de los cultivares.

3.3.4 Procedimiento para fertirriego

Se llenaron los tinacos con agua de pozo y durante el llenado del tinaco se añadieron los fertilizantes. La fuente de calcio se añadió por separado de los demás fertilizantes. Se verificó con higrómetro la humedad de las camas. La humedad del sustrato dependió de la cantidad de agua/fertilizante a aplicar. Por ejemplo, de un rango entre 25-45 % de humedad del sustrato se aplicaron 150 litros de líquido por cama dividida en 3 partes agua-fertilizante-agua. Por otro lado, para un rango de 46-75 % de humedad del sustrato se aplicó en total 100 l de líquido por cama. Finalmente, para lograr un 85 % en delante de humedad del sustrato no se aplicó el riego.

3.3.5 Aplicación de agroquímicos vía foliar

Dentro del invernadero se preparó en una cubeta el concentrado del producto a aplicar. Se vertió el contenido de la cubeta en la mochila y se aforó el volumen preestablecido (en general a 10 litros). Se sacudió treinta veces la mochila para mezclar el producto a aplicar. Al termino de este proceso se colocó el tyvek y la mascarilla completa para hacer las aplicaciones.

Se aplicó el producto sobre la parte de la planta que es requerida (follaje y tallos), se aseguró una cobertura total con el producto de las partes “meta”. Después de la aplicación se tiró la parte sobrante en un lugar confinado para este fin y se lavó la mochila con agua (pasando el agua por todo el sistema de aspersión, con el fin de evitar la acumulación, cristalización de productos que a la larga nos podría causar taponamientos).

3.3.6 Procedimiento para cosecha de minitubérculos

Se desprendieron de los iniciales las cintillas del riego de la cama, amarrándolas con rafia y sujetándolas a los postes de PTR de los dos extremos de la cama. Se sacaron las plantas de la cama en un tramo de 2 a 3 metros. Las plantas arrancadas se sacudieron para quitarles el exceso de sustrato y se colocaron en el pasillo entre las camas. Se revisó que la planta así extraída no tenga tubérculos formados durante el ciclo. Se colocó el contenedor de plástico sobre el costal en la cama a una distancia de aproximadamente de un metro desde el inicio de la cama.

Con la mano se escarbó el sustrato con el fin de encontrar en ello los tubérculos producidos en el ciclo. Se colocaron los tubérculos encontrados en el contenedor de plástico. Se llenó la caja con tubérculos aparentemente sanos hasta una altura que permita que no se dañen los tubérculos al estibar los contenedores (cajas) en las siguientes etapas del proceso. Paralelamente se tuvo una caja para depositar ahí los tubérculos que tienen algún daño físico o por agentes biológicos.

3.3.7 Selección de tubérculos

En esta etapa de selección se manejaron 5 tamaños: mayor o igual a 40 mm, 30- 39.9 mm, 25-29.9mm, 20 – 24.9mm y menores a 20 mm (posteriormente los menores de 20 mm se dividen en 3 fracciones. (15-19.9mm, 12-14.9mm y menor a 12mm).

Se utilizó el escantillón para separar los tubérculos por tamaño. Los tubérculos de la misma categoría se distribuyeron por cajas, según el número que correspondía a su cantidad en la

arpilla. En el caso de los tubérculos de $> 0 = a 40$ mm, en cada caja se colocaron 100 piezas, en el caso del tamaño 30 – 39.9 mm, se incluyeron 150 piezas, en el caso de la categoría 25 – 29.9 mm, se colocaron 400 unidades y en el caso de los tubérculos con diámetro entre 20 y 24.99, se incluyeron 650 piezas. Al terminar la selección de los tubérculos mayor o igual a 20 mm se procedió a la selección de semilla con el tamaño menor al 20 mm. Se separaron en 3 categorías: la categoría de $< a 12$ mm, de 12 a 14.9 mm y la de 15 a 19.9 mm.

Al tener los tubérculos revisados, se procedió a la elaboración de las etiquetas, con el número de tubérculos (arpillas) a entregar. Las etiquetas llevaron la siguiente información: identificación de la nave en donde se produjeron los tubérculos, el cultivar producido, el ciclo de producción, la categoría del tamaño que llevó la arpilla y el número de tubérculos por arpilla. Después se procedió a la aplicación de fungicidas para prevenir enfermedades fungosas durante la etapa de almacenamiento. Para este fin, se colocaron las cajas con los tubérculos seleccionados en unicapa, separados en el patio, (el proceso se hizo por lotes de tamaño) y se les aplicó la mezcla de los fungicidas.

3.4 Diseño experimental y variables evaluadas

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente aleatorizado con un arreglo factorial, que incluye a dos densidades de plantación y dos cultivares con cuarenta repeticiones. Cada unidad experimental (tratamiento) constó de 5 surcos y cada repetición de una planta. La distancia entre surco y surco fue de 1 m. La densidad de plantación fue de 0.1 y 0.090 plantas m^{-2} , con una distancia entre planta y planta de 10 y 11cm respectivamente. Cada tratamiento consistió en una parcela de 10 m^2 (5 × 2 m), donde la parcela útil fue de 3 m^2 (3 x 1 m).

El primer muestreo se hizo en el trasplante, el segundo muestreo a los 30 días después del trasplante (ddt) y el tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). En cada uno se tomó una muestra de cinco plantas por tratamiento, para evaluar las siguientes variables. El área foliar (AF), se estimó con un integrador marca LI-COR 3100, (Lincoln, Nebraska,

USA) sin incluir el pecíolo y se expresó en cm²; el índice de área foliar (IAF), se calculó, utilizando el AF, la densidad de plantas m⁻² (DP) y el área sembrada (AS), mediante la relación:

$$IAF = \frac{(AF) (DP)}{AS}$$

Además, en cada uno de los cortes se evaluaron las siguientes variables: número de foliolos (**NF**, se contó el número total de foliolos de toda la plántula), altura de la planta (**AP**, se midió la altura de la plántula desde la base del tallo caulinar hasta su ápice meristemático de crecimiento, cm), el diámetro del tallo (**DT**, se midió el diámetro del tallo en la parte media del tallo caulinar, mm), el diámetro de la raíz (**DRP**, se midió el diámetro de la raíz principal, mm), diámetro de la base del tallo caulinar (**DBTC**, se midió la base del tallo caulinar, mm) número de tubérculos por planta (**NTP**, se conto el número de tuberculos por planta), el peso de los tubérculo por planta (**PT**, g) y el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por planta (**RENPL**, total de tubérculos X 100/número de plántulas (40)/100).

3.5 Análisis estadístico

Con los datos recopilados se efectuaron los Análisis de Varianza y cuando las pruebas de F (p≤0.05) resultaron significativas, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (p=0.05) (Steel and Torrie, 1992) usando el software de análisis estadístico SAS (SAS Institute, 2004). En la interacción la prueba de Tukey se aplicó así:

$$Tukey = q_{t, Nt, \alpha} \sqrt{\frac{CME}{n}} \quad (\text{Steel \& Torrie, 1992});$$

donde N es el número total de observaciones, t número de niveles del factor, n tamaño de muestra de cada nivel del factor, CME cuadrado medio del error, qt, Nt distribución del rango estudentizado en los parámetros t grupos y N-t grados de libertad y con el nivel de significancia ∞.

Para explicar el incremento en el REN y las variables AF, IAF y NTP se estimaron las rectas de regresión lineal correspondientes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis de varianza

En el **Cuadro 2 y Figura 1** se observa que el primer muestreo que correspondió al trasplante no hubo diferencias significativas en la densidad de plantación (**D**) y los cultivares (**C**) en todas las variables, excepto en el número de foliolos planta⁻¹(**NF**). La interacción C × D fue significativa en el número de foliolos (**NF**).

En el **Cuadro 3 y Figura 2** se observa que en el segundo muestreo a los 30 ddt hubo diferencias significativas en la densidad de plantación (**D**) y los cultivares de papa (**C**) en todas las variables, excepto en el diámetro de la raíz principal (**DRP**). No hubo diferencias significativas en altura de la planta para los cultivares (**C**). La interacción C×D no fue significativa en el diámetro de la raíz principal (**DRP**) y dámetro del rizoma (**DRI**).

En el **Cuadro 4 y Figura 3** se observa que a los 60 ddt no hubo diferencias significativas en la densidad de plantación (**D**) y los cultivares de papa (**C**) en todas las variables, excepto en el número de foliolos (**NF**) y diámetro del rizoma (**DRI**). También, hubo diferencias significativas en altura de la planta (**AP**) y diámetro de la base del tallo caulinar (**DBTC**) para la densidad de plantación (**D**). La interacción C × D fue significativa en el número de foliolos (**NF**), altura de la planta (**AP**) y diámetro del rizoma (**DRI**).

En el **Cuadro 5 y Figura 3** se observa que a los 60ddt no hubo diferencias significativas en la densidad de plantación (**D**) y los cultivares de papa (**C**) en todas las variables. Se presentaron diferencias significativas en número de tubérculos (**NT**), peso de los tubérculos (**PT**), el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por planta (**RENPL**) para la densidad de plantación (**DP**). La interacción C × D fue significativa en el peso del tubérculo (**PT**) y rendimiento (**REN**).

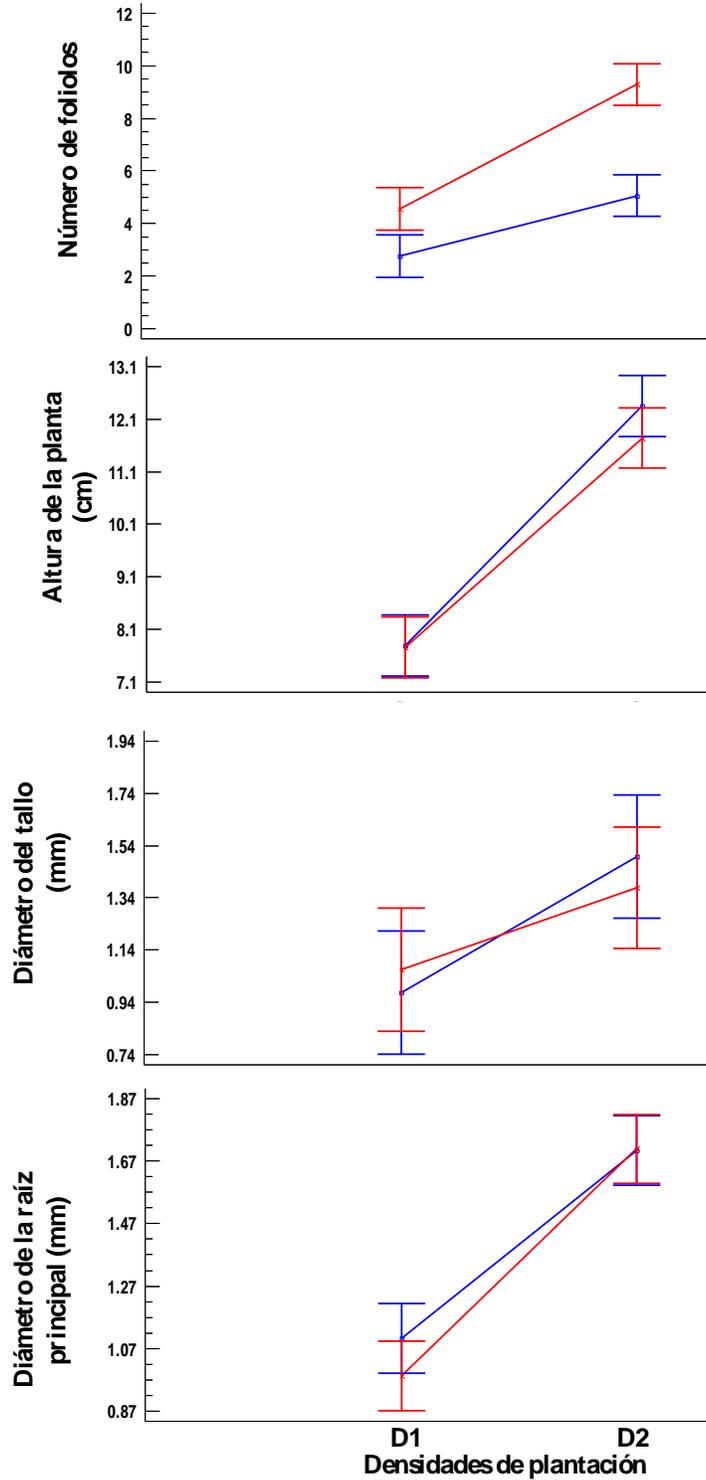


Figura 1. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el primer muestreo que correspondió al trasplante. El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic

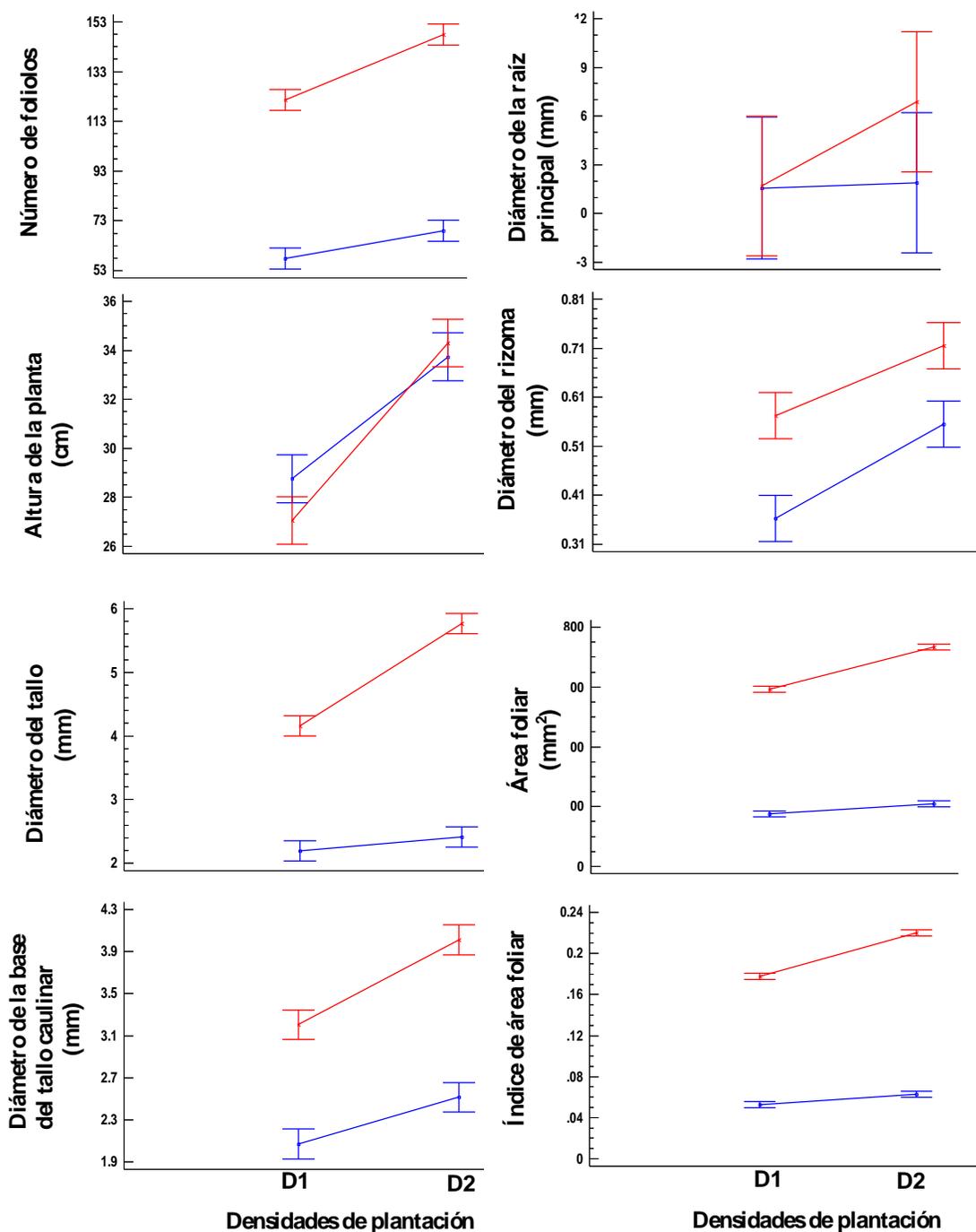


Figura 2. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el segundo muestreo a los 30 días después del trasplante (ddt). El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic.

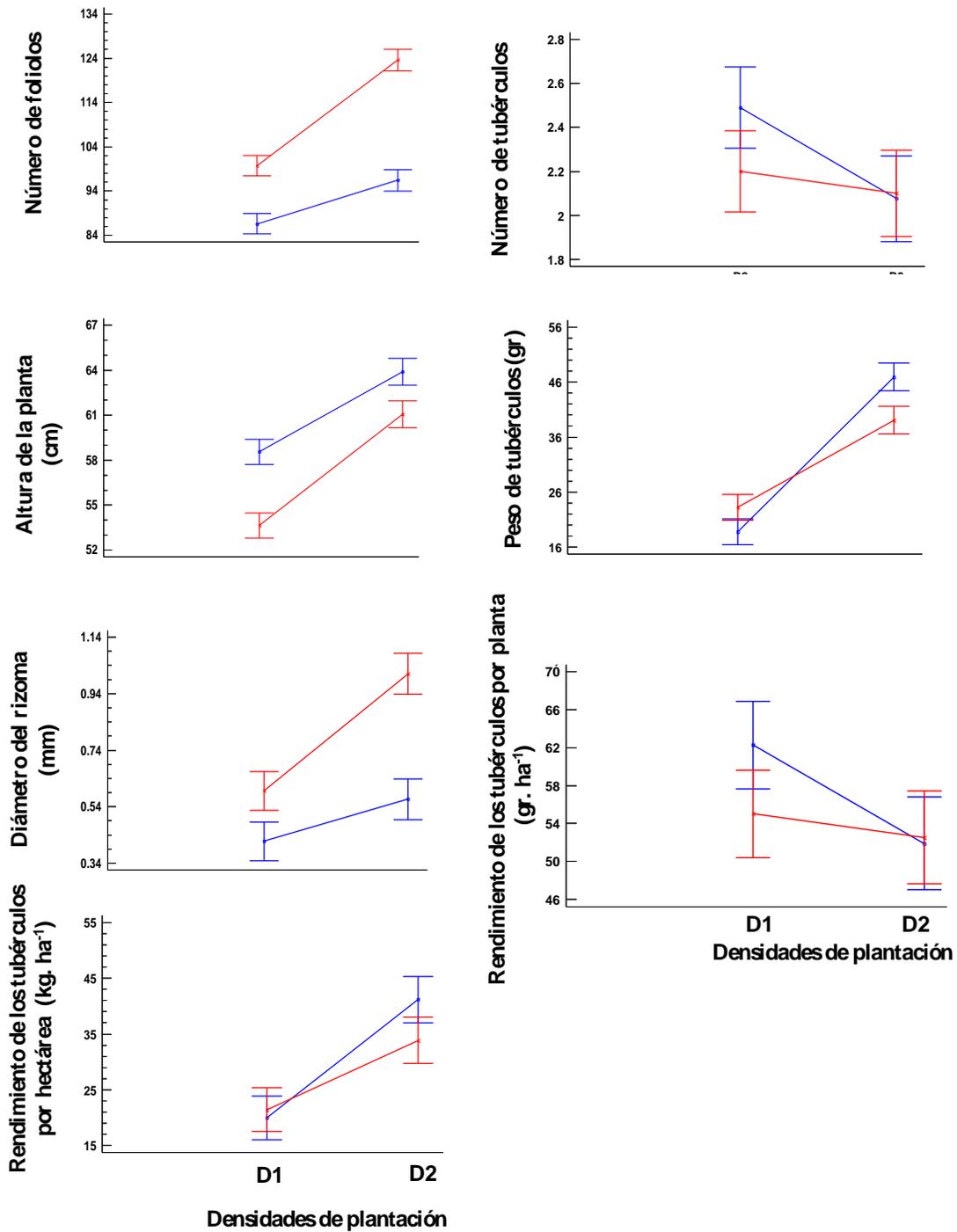


Figura 3. Interacciones entre las variables morfológicas y las densidades de plantación (D1 y D2) en dos cultivares de papa (C) bajo cultivo de invernadero en el tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). El color rojo indica el cultivar FL1867 y el color azul al cultivar Atlantic.

Cuadro 2. Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro del tallo caulinar (DTC) y diámetro de la raíz (DR) para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). Primer muestreo que correspondió al trasplante. Verano de 2021.

Fuente de variación	GL	NF	AP (cm)	DTC (mm)	DR (mm)
Cultivar (C)	1	364.42**	4.20 ^{NS}	0.01 ^{NS}	0.13 ^{NS}
Densidad de plantación (D)	1	495.59**	728.56**	6.92**	17.62**
C*D	1	58.84**	3.16 ^{NS}	0.42 ^{NS}	0.16 ^{NS}
Error experimental	157	1187.35	620.76	103.02	22.85
Total	160	2115.43	1355.50	110.36	40.76

NS: No significativo ($p > 0.05$). *: Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Cuadro 3. Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro del base del tallo caulinar (DBTC), diámetro de la raíz principal (DRP), diámetro del tallo caulinar (DTC), diámetro del rizoma (DRI), área foliar (AF) e índice de área foliar para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El segundo muestreo a los 30 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021.

Fuente de variación	GL	NF	AP (cm)	DBTC (mm)	DRP (mm)	DTC (mm)	DRI	AF	IAF
Cultivar (C)	1	204668**	13.046 ^{NS}	69.62**	258.35 ^{NS}	285.02**	1.37**	8863190**	0.7977**
Densidad de plantación (D)	1	13998**	1500.9**	15.70**	302.17 ^{NS}	33.88**	1.13**	303626**	0.0273**
C*D	1	2309.2**	51.559*	1.32*	234.88 ^{NS}	19.36**	0.03 ^{NS}	113089**	0.0102**
Error experimental	157	33435	1782.8	37.24	34035.30	47.33	4.11	173184	0.0156
Total	160	253567	3353.9	123.41	34833.70	383.80	6.63	9453090	0.8508

NS: No significativo ($p > 0.05$). *: Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Cuadro 4. Suma de cuadrados del análisis de varianza (ANDEVA) y su significancia para las variables número de foliolos (NF), altura de la planta (AP), diámetro de la base del tallo caulinar (DBTC), diámetro de la raíz principal (DRP), diámetro del rizoma (DRI), área foliar (AF) e índice de área foliar para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021.

Fuente de variación	GL	NF	AP (cm)	DBTC (mm)	DRP (mm)	DRI	AF	IAF
Cultivar (C)	1	17203.40**	633.68 ^{NS}	0.05 ^{NS}	730.61 ^{NS}	4.10**	399186 ^{NS}	0.036 ^{NS}
Densidad de plantación (D)	1	12007.10**	1726.50**	34.69**	546.62 ^{NS}	3.35**	37904 ^{NS}	0.003 ^{NS}
C*D	1	2087.67*	46.08*	3.51 ^{NS}	722.71 ^{NS}	0.74**	287560 ^{NS}	0.026 ^{NS}
Error experimental	157	11314.30	1549.61	189.28	64548.20	10.29	29505500	2.656
Total	160	41971.90	3978.41	227.59	66638.90	18.30	30192600	2.717

NS: No significativo ($p > 0.05$). *: Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Cuadro 5. Suma de cuadrados del análisis de varianza (ANDEVA) y su significancia para las variables diámetro del tallo (DT), número de tubérculos (NT), peso de tubérculos (PT), el rendimiento de tubérculos por hectárea (REN) y el rendimiento de tubérculos por plántula (RENPL) para los factores densidad de plantación (D) y cultivar (C). El tercer muestreo a los 60 días después del trasplante (ddt). Verano de 2021.

Fuente de variación	GL	DTC	NT	PT	REN	RENPL
Cultivar (C)	1	125.62 ^{NS}	0.737337 ^{NS}	123.523 ^{NS}	360.994 ^{NS}	0.000460835 ^{NS}
Densidad de plantación (D)	1	23.04 ^{NS}	2.79616*	2046.6**	11968.6**	0.0017476*
C*D	1	133.92 ^{NS}	1.04322 ^{NS}	1603.05**	820.130*	0.000652012 ^{NS}
Error experimental	157	14271.40	74.8194	12547.9	34080.6	0.0467622
Total	160	14570.20	795059	34689.5	47170.3	0.0496912

NS: No significativo ($p > 0.05$). *: Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.2 Densidad de plantación

La densidad de población; es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos (Blanco-Valdes, 2021). En esta investigación, en la densidad de plantación hubo diferencias significativas el rendimiento de tubérculos por

hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por planta (**RENPL**), lo cual se debió a que también hubo diferencias significativas en las variables número de tubérculos (**NT**) y peso de tubérculos (**PT**) (**Cuadro 5**). Resultados similares encontraron **Dellai et al. 2008** al evaluar el efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de la planta y el rendimiento. Al incrementar la densidad de plantación se aumentó el número de minitubérculos en cultivo hidropónico.

4.3 Cultivares

En papa, la producción de minitubérculos está determinada, entre otros factores, por el genotipo. Los cultivares difieren en su capacidad para producir minitubérculos, algunos de estos son más prolíferos que otros (**Tapia y Figueroa et al., (2017)**). En este estudio, los cultivares Atlantic y FL158 no mostraron diferencias significativas en el número de tubérculos (**NT**), peso de los tubérculos (**PT**), el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por plántula (**RENPL**).

En otro estudio, que tuvo como objetivo obtener microtubérculos y minitubérculos de tres cultivares de papa ('Canchan', 'Capiro' y 'Papa3'). Al comparar, el efecto de ambos factores (método de obtención y cultivar) en el número de semilla por planta se pudo constatar que con excepción del cultivar 'Capiro', no se encontraron diferencias entre ambos métodos de producción de semilla para el resto de los cultivares. El cultivar 'Capiro' logró un mayor número de minitubérculos por planta, pero su baja masa fresca pudiera impedir su uso como semilla básica (**Tapia y Figueroa et al., 2017**).

4.4 Interacción densidad de plantación (D) × Cultivares (C)

La búsqueda de técnicas que permitan mejorar la producción e incrementar las ganancias es la demanda actual de los productores; donde un aspecto importante es la evaluación de

cultivares con mayor potencial productivo para cada especie cultivada. Además, la densidad óptima de plantación es un factor importante para maximizar la producción en muchos de los cultivos. La densidad de plantación es determinante en el grado de competencia entre plantas, donde el rendimiento por planta se ve afectado a medida que la densidad incrementa (**López-Elias et al., 2011**). En esta investigación, en la interacción cultivar (C) y densidad de plantación, a los 60 días después del trasplante (DDT), hubo diferencias significativas en el peso de tubérculo (**PT**) y rendimiento (**RE**). El número de tubérculos a la densidad de plantación mayor es similar en ambos cultivares, sin embargo a la densidad de plantación menor, el cultivar Atlantic los produjo en un número significativamente mayor (**Cuadro 5**). En papa, se evaluaron la productividad de diez cultivares; el peso total de tubérculos, el peso de tubérculos comerciales, el número total de tubérculos y el peso seco del follaje, presentaron diferencias estadísticas significativas entre cultivares (**Rojas y Seminario, 2014**).

En otro estudio, al evaluar el efecto de cuatro distancias de plantación y tres calibres de tubérculos-semilla, sobre algunas características morfoproductivas de la papa, cultivar Romano; el diámetro del tallo y el área foliar a los 75 días después de la plantación (ddp), se beneficiaron al aumentar la distancia de plantación y el uso de calibres con mayor tamaño. Por otro lado, con el empleo de calibres entre 35-45 mm, a una distancia de plantación de 90 x 30 cm, se obtuvieron rendimientos promedio de 16,4 t ha⁻¹ (**M. de Almeida, 2016**).

4.5 Relación entre el rendimiento y las variables área foliar, índice de área foliar, número de tubérculos planta⁻¹ y peso de fruto.

El estudio de variabilidad, diversidad genética e identificación de genotipos sobresalientes en papa (*Solanum tuberosum* L.), es fundamental en los programas de mejoramiento genético, generación de tecnología y producción de semill-tubérculo. Al evaluar nueve genotipos provenientes de minitubérculos, se encontró que la correlación positiva y

significativa entre rendimiento contra peso, diámetro y longitud de tubérculo por planta (Pérez-López *et al.*, 2010).

Las rectas de regresión entre el rendimiento y el peso de los tubérculos (0.64) presentadas en la **Figura 4** muestran un coeficiente de determinación significativo. El $REN=0.9465(PT)-1.078$, indica que, por cada unidad de incremento de PT el rendimiento aumenta 0.9465 unidades. En esta Figura se observa, que a medida que incrementa el valor de esta variable la producción también aumenta. **Morales-Fernández *et al.* (2011)** encontraron una tendencia positiva entre el peso del tuberculo y el rendimiento. Se evaluaron cuatro grados de madurez de la semilla-tubérculo: a los 22, 37, 51 y 63 días después del inicio de la tuberización (madurez uno, dos tres y cuatro, respectivamente), en las variedades Alpha, Atlantic, Mondial y Vivaldi. La variedad Alpha tuvo mayor número de tubérculos por planta y mayor duración de su ciclo biológico, en tanto que Mondial mostró el mayor peso de tubérculos por planta. El número total y peso promedio de tubérculos por planta fueron los componentes que más contribuyeron al rendimiento.

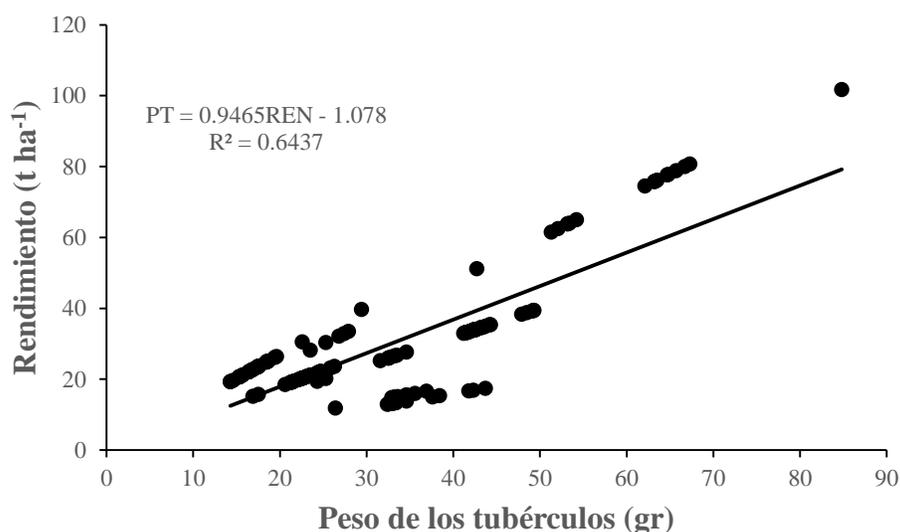


Figura 4. Relación entre el el rendimiento de tubérculos por hectárea y el peso de los tubérculos (PT).

En este estudio, se encontró una baja correlación entre el número de tubérculos y el rendimiento ($R^2=0.22$), entre índice de área foliar y rendimiento ($R^2 = 0.0001$), entre el área foliar y el rendimiento ($R^2 = 0.0001$), entre el número de folíolos y el rendimiento ($R^2 = 0.0222$) y entre la altura de la planta y el rendimiento ($R^2 = 0.1389$). Resultados similares de baja correlación se encontraron entre las variables el número de tallos y la masa de tubérculos por planta ($R^2=0.13$) y entre el número de tubérculos y el número de tallos por planta ($R^2=0.38$), al evaluar características de calidad y componentes de rendimiento en una progenie de 837 híbridos F_1 de papa (**Porras- Martínez y Brenes-Angulo, 2015**).

V. CONCLUSIONES

En la densidad de plantación hubo diferencias significativas el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por planta (**RENPL**), lo cual se debió a que también hubo diferencias significativas en las variables número de tubérculos (**NT**) y peso de tubérculos (**PT**). La interacción C × D fue significativa en algunos de los muestreos para el número de foliolos (**NF**), altura de la planta (**AP**), diámetro del rizoma (**DRI**), diámetro del tallo caulinar (**DTC**), área foliar (**AF**), índice de área foliar (**IAF**), el peso de los tubérculos (**PT**) y el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹). Las rectas de regresión entre el rendimiento y el número de tubérculos (0.64) muestran un coeficiente de determinación significativo. El peso de los tubérculos afectó el rendimiento en forma positiva.

Los cultivares Atlantic y FL158 no mostraron diferencias significativas en el número de tubérculos (**NT**), peso de los tubérculos (**PT**), el rendimiento de tubérculos por hectárea (**REN**, t ha⁻¹) y el rendimiento de tubérculos por plántula (**RENPL**). Es posible incrementar el rendimiento de los microtubérculos, si la plántula que se utiliza, tuviera un mejor sistema radical. Entre las alternativas, se pueden usar micorrizas, aminoácidos y micronutrientes aplicados a las plántulas para mejorar su sistema radical.

VI. LITERATURA CITADA.

- Amm, Y. (2020). *MOTT Social*. Obtenido de <https://mott.social/manejo-de-principales-plagas-y-enfermedades-en-el-cultivo-de-la-papa/>
- Bayer CropScience. 2005. “La paratryza o pulgón saltador del tomate y la papa”.
- Boletín Técnico de Paratryza. Bayer CropScience, México. 10 p.
- Burgos A. M., J. Prause, J. A. Argüello y P. J. Cenóz (2013). Fenología de los estados vegetativos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en base al tiempo térmico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo* 45:43-52
- Cuesta, X. (2006). Papas nativas ecuatorianas en proceso de extinción . *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 30-31.
- Dellai, J, A. A. Bisognin, J. L. Andriolo, N. A. Streck, D. R. Müller, M. G. Bandinelli (2008). Densidade de plantio na produção hidropônica de minitubérculos de batata. *Ciencia Rural*, 6 (38), 1534-1539. ISSN 0103-8478.
- Elías, L. J, M. A. H. López, P. F. Ayala, J. J. León, P. F. A Flores (2011). Productividad y calidad de dos cultivares de pepino en respuesta a la densidad de plantación. *Revista de Ciencias Biológicas y de Salud, BIOTecnia / XIII (I):* 23-28
- Estevez, A. (2007). La papa importada y situación mundial . En *INCA* (pág. 15). Cuba: La Habana .
- Fabricio, N. (2015). *ARGENPAPA*. Obtenido de <https://www.argenpapa.com.ar/noticia/74-principales-variedades-de-papa-cultivadas-en-la-republica-argentina>
- FAO. (2008). *Año internacional de la papa*. Obtenido de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization Statistical (2020) FAO Statistical Database 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. Available at: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Franco, J. (2002). El cultivo de papa en Guatemala. *Ministerio de Agricultura*, 145.
- Garzon, J. P., R. Bujanos, y A. J. Marin, (2007). Manejo integrado de paratryza *Bactericera cockerelli*. En INIFAP, *instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuaria* (págs. 30-31). Mexico: Agromag.
- Gil, G. J. (2019). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Variedades_de_la_papa_\(Solanum_tuberosum\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Variedades_de_la_papa_(Solanum_tuberosum))

- Grepe, N. (2001). *Cultivo de Papa. Centro de estudios agropecuarios. MX 81p.*
- Gutierrez, N. (2014). *Agricultura y desarrollo rural.* Obtenido de <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-agricola-hortofruticola-e-inocuidad/613>
- Haro, L. F. (2019) Importancia de la producción de papa en México. El Sol de México.
- Hidalgo, O. (2008). Avances en la producción de tuberculo-semilla de papa en los países del Cono Sur CIP Lima. 199.
- Huarte, J. S., y F. E. Capezio (2013). *El cultivo de papa.* Obtenido de <http://redepapa.org/2015/02/02/el-cultivo-de-la-papa-en-argentina>.
- INIAP. (2011). Ficha técnica Friepapa. *Santa Catalina*, 3.
- INTA. (2001). Guía MIP en el cultivo de papa. *Instituto nacional de tecnología Agropecuaria*, 59.
- INTAGRI. (2017). Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de la papa. *Serie hortalizas*, 3.
- Ivette, A. B., y H. T. Mondiot (2010). El tizon tardío en la papa. *INFORMATIVO*, 1, 2, 4.
- Jesus, L. E. (2013). Variedades de papa. *Fundación Produce. Sinaloa A.C.*, 9.
- Kalazich B, J. (2012). *Tierra Adentro.* Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/5506>
- Koppert. (2006). *Biological systems.* Obtenido de Pulgon de la papa : <https://www.koppert.mx/retos/pulgones/pulgon-de-la-papa/>
- La Torre, M. B (2012). “SISTENCIA TECNOLÓGICA DIRIGIDA EN FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE PAPA. Guía Tecnológica. UNALM. 5p.
- Leyva, F. L. (2021). Tuberculos.org. Wasabi - Propiedades, Beneficios, Cómo se hace, Origen, Cultivo y Más (tuberculos.org).
- Lopez, G. J., y A. F. Fernandez,(2017). *Cultivo de papa.* Obtenido de <http://cipotato.org/es/eslapapa/como-crecen-laspapas/#sthas.xdcrP3Pr.dpuf>
- López-Elías, J, M. A. H. López, P. F. Ayala, J. J. León, P. F. A Flores (2011). Productividad y calidad de dos cultivares de pepino en respuesta a la densidad de plantación. *Revista de Ciencias Biológicas y de Salud, BIOTecnia / XIII (I): 23-28*
- Lorenzo, F. (2000). *La patata.* Barcelona: AEDOS.

- Lourdes, T. (2011). Identificación de oferta y demanda de innovaciones tecnológicas en un contexto de mercado con agricultores alto andinos de baja escala- Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. *CONPAPA*, 253.
- Martin, M. F., y M. T. Jerez (2015). Evaluación de rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*, L.) a partir del comportamiento de las temperaturas. *Cultivos tropicales*, 93-97.
- Molares-Fernández. S. D, M. A. Rafael, J. E. P. Rodríguez, M. Y. Salinas, L. Ma. T. Colinas, S. H. Lozoya (2022). Desarrollo y rendimiento de papa en respuesta a la siembra de semillatubérculo inmadura. *Revista Chapingo serie horticultura*, 1 (17), 67-75. ISSN: 1027-152X
- Montesdeoca, F. (2011). *Centro internacional de la papa*. Obtenido de <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/20-diamante/>
- Motesro, R. (2010). Enfermedades y deformaciones de la papa en México. En Sabritas, *Manual de Campo* (págs. 12-45). Sonora.
- Noriega, F. (2015). *Gusano de Alambre*. Obtenido de <https://www.aimcra.es/Publicaciones/Documentos/Otras/GUSANO%20DE%20ALAMBRE%20o%20ALFILERILLO.pdf>
- Olmo, A. (2020) Estado de México productores de papa. blogagricultura.com
- Ortiz, A. (2009). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, Estado de México*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15072a.html>
- Otiniano, V. R. (2017). Manual del cultivo de papa para pequeños productores en la sierra norte de Perú. Asociación Patas. (1), ISBN: 978-612-48608-0-8, 26p.
- Pro.com, P. (2015). *como controlar el pulgon soldador de la papa*. Obtenido de <https://www.potatopro.com/news/2015/c%C3%B3mo-controlar-el-pulg%C3%B3n-saltador-en-la-papa>
- Punina, A. E. I. (2013). Evaluación Agronómica Del Cultivo De Papa (*Solanum tuberosum*) C.V “Friepapa” a la aplicación de tres abonos completos”. Universidad Autónoma de Ambato. Facultad de ciencias Agropecuarias. 20p.
- Quezada, J. (2008). Respuesta de cultivo de tomate en sustarto de roca al a oxigenación de la solución nutritiva . 10.

- Radtke, D. (2010). *Mountain Valley Crop Service*. Obtenido de <http://cropideas.net/spindex.html>
- Ramírez, O. C. (2016). Requerimientos del cultivo según fases fenológicas. Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica. CITE- PAPA. ARDES- Perú .
- SAS. (2004). *SAS/STAT User's Guide, Version 8-02 SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA*. 479.
- Satellite-Map. (2010). *Santa Maria Rayon*. Obtenido de Pronostico de tiempo y radar: https://satellite-map.gosur.com/?gclid=EAIaIQobChMIjriZmLPF8AIVHJenCh3tBgvLEAEYASA AEgK_R_D_BwE&ll=19.145642264150766,-99.56683591581515&z=14.292279964246337&t=satellite.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012) Atlas agropecuario y pesquero: información del sector agroalimentario 2012. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 154 p. Available at: <http://www.siap.gob.mx>
- Tapia y Figueroa, M. L, J. C. Lorenzo, O. Mosqueda, M. Escalona (2017). Obtención de microtubérculos y minitubérculos como semilla pre-básica en tres cultivares peruanos de papa. *Biotecnología vegetal*, 3 (17), 161-169. RNPS: 2154
- Torres L. P., P Gallegos, y C. R Castillo (2011). *Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador*. Obtenido de <https://cipotato.org/papaenecuador>
- Trujillo E. J, y S. M. Perera (2009). *Agrocabildo*. Obtenido de https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_112_Plagenfpapa1
- Valdes. B. Y, D. G Viera (2021). Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos tropicales*, 3 (42), e08. ISSN impreso 0258-5936, ISSN digital 1819-4087