

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**EFFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE NITRÓGENO EN EL
RENDIMIENTO Y CALIDAD POST COSECHA DE DOS
CULTIVARES PROMISORIOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
ZARCERO, ALAJUELA, COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en
Agronomía

HENRY DANIEL GUERRERO VILLALOBOS



Carrera de Ingeniería en Agronomía
Campus Tecnológico Local
San Carlos
2019 - 2023

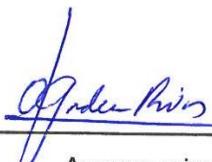
SANTA CLARA, 2020

EFFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE NITRÓGENO EN EL
RENDIMIENTO Y CALIDAD POST COSECHA DE DOS
CULTIVARES PROMISORIOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
ZARCERO, ALAJUELA, COSTA RICA

HENRY DANIEL GUERRERO VILLALOBOS

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

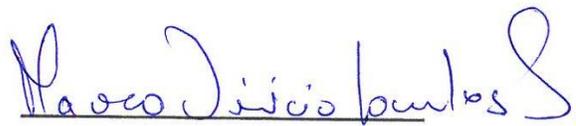
Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.


Asesor principal

Ing. Agr. Jorge Mora Bolaños, M. Sc.


Asesor Externo

Ing. Agr. Marco Corrales Soto, Lic.


Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinadora
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph.D.


Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

*A mi padre Henry Guerrero y a
mi madre Kattia Villalobos, por ser las
personas que siempre me han
apoyado en los momentos más
importantes de mi vida*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, proceso que duró varios años llenos de mucho esfuerzo y sacrificio, pero que me dieron las bases necesarias para poder culminar este Trabajo Final de Graduación.

Al Sr. Denis Delgado Gómez, propietario de Finca La Esperanza, quién me apoyó desde un inicio en brindarme un espacio en su finca y así poder establecer el ensayo.

Al Ing. Agr. Jorge Mora Bolaños, representante del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), por todo el acompañamiento brindado durante la ejecución del presente trabajo y por permitirme evaluar dos cultivares promisorios que pronto traerán beneficios a los agricultores papeños de nuestro país.

Al Ing. Agr. Marco Corrales Soto, representante también del INTA, por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del ensayo.

Al Ing. Agr. Arnoldo Gadea, por no dudar en ser mi asesor de tesis la primera vez que le comenté la idea, por estar siempre anuente a colaborar y estar atento ante alguna necesidad durante la ejecución del proyecto. Además, por todos esos consejos que me brindó como profesor y como amigo.

A todas las demás personas que de alguna u otra forma fueron parte de este trabajo y me ayudaron para que las cosas se logaran desarrollar de la mejor forma.

A toda mi familia y demás familiares que siempre me apoyaron. A mis padres que agradezco profundamente la oportunidad que me dieron de poder estudiar. A mi hermano Erick, Allison y Fabián, que igualmente me motivaron y apoyaron para poder finalizar este trabajo.

A todos los profesores y profesoras, y administrativos que han sido parte de mi proceso de formación académica.

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Justificación.....	4
1.2	Objetivos	6
1.2.1	Objetivo General	6
1.2.2	Objetivos Específicos	6
1.2.3	Hipótesis de Investigación	6
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1	Requerimientos climáticos.....	7
2.2	Zonas de producción de papa	7
2.3	Áreas de siembra, producción y rendimientos nacionales	8
2.4	Manejo agronómico del cultivo de papa	9
2.4.1	Fases Fenológicas	9
2.4.2	Periodo crecimiento vegetativo.....	11
2.5	Variedades de papa más utilizadas en Costa Rica	13
2.5.1	Floresta	13
2.5.2	Granola	14
2.5.3	Única	15
2.5.4	Pasquí	15
2.5.5	Kamuk.....	16
2.5.6	Durán	16
2.6	Características de suelos productores de papa en Costa Rica.....	16
2.7	Características deseables en materiales promisorios	17

2.8	Características de cultivares promisorios de papa evaluados en el presente estudio	17
2.9	Trabajos de investigación y evaluaciones realizados en cultivares promisorios CIP398017,53 y CIP396009,240	21
2.10	Manejo de distancias de siembra y densidades en el cultivo de papa 23	
2.11	Generalidades del nitrógeno en el cultivo de papa	23
2.11.1	Nitrógeno.....	23
2.11.2	Fuentes de nitrógeno.....	24
2.11.3	Absorción y asimilación de nitrógeno en plantas	24
2.12	Nitrógeno en el cultivo de papa	25
2.13	Estudios de nutrición en el cultivo de papa en Costa Rica	26
2.14	Corazón vacío	27
3	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1	Ubicación	29
3.2	Periodo de estudio	30
3.3	Material experimental	30
3.4	Descripción de los tratamientos.....	30
3.5	Diseño, área y unidad experimental	32
3.6	Análisis estadístico	35
3.7	Variables respuesta estudiadas.....	35
3.8	Variables productivas	36
3.8.1	Rendimiento de producción general	36
3.8.2	Rendimiento según categoría de tubérculo	37
3.9	Variables de calidad	38

3.9.1	Porcentaje de materia seca	38
3.9.2	Presencia de corazón vacío	39
3.9.3	Variables de sanidad	40
3.10	Variables económicas	43
3.10.1	Cálculo de beneficio marginal	43
3.10.2	Ingreso marginal	43
3.10.3	Gasto Marginal	44
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1	Análisis exploratorio de datos	46
4.2	Variables productivas	47
4.2.1	Rendimiento de producción general	47
4.2.2	Rendimiento según categoría de tubérculo	54
4.2.3	Variables de calidad	57
4.2.4	Variables de sanidad	62
4.2.5	Variables económicas	64
5	CONCLUSIONES	68
6	RECOMENDACIONES	70
7	BIBLIOGRAFÍA.....	71
8	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Características generales del cultivar de papa promisorio CIP396009,240 utilizado durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcerro, 2019 18
- Cuadro 2.** Características generales del cultivar promisorio CIP398017,53 utilizado durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcerro, 2019. 19
- Cuadro 3.** Rendimientos de producción de cultivares promisorios CIP398017,53 y CIP396009,240, y la variedad comercial Granola en tres diferentes localidades de la provincia de Alajuela, 2018..... 22
- Cuadro 4.** Cantidad de nutrientes requeridos para la variedad Floresta. 27
- Cuadro 5.** Descripción de tratamientos utilizados durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcerro, 2019. 31
- Cuadro 6.** Fórmulas químicas de abono granulado utilizadas en labores de siembra y aporca por tratamientos durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcerro, 2019. 32

Cuadro 7. Categorías para la clasificación comercial de tubérculos utilizada durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.....	37
Cuadro 8. Escala de severidad utilizada para determinar superficie cubierta por los síntomas causados por los patógenos <i>Streptomyces</i> sp., <i>Spongospora</i> sp., y <i>Rhizoctonia</i> sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	42
Cuadro 9. Cálculo de ingresos marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	65
Cuadro 10. Cálculo de gastos marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	66
Cuadro 11. Cálculo de beneficios marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de siembra promedio del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica.	8
Figura 2. Producción de papa promedio del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica	8
Figura 3. Rendimientos de producción del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica.	9
Figura 4. Fases de crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa.	13
Figura 5. Representación gráfica del cultivar promisorio CIP396009,240 (A: Follaje e inflorescencia; B: Tubérculos de papa; C: Brote en semilla).	20
Figura 6. Representación gráfica de cultivar promisorio CIP398017,53 (A: Inflorescencia; B: Tubérculos de papa; C: Inflorescencia y follaje; D: Brote en tubérculo semilla).....	20
Figura 7. Ubicación de Finca La Esperanza, lugar donde se estableció el ensayo. 1,5 km este de la Cancha de Fútbol del distrito de Tapezco, Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 2019.....	29
Figura 8. Localización de los cuatro bloques utilizados durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	33
Figura 9. Diagrama con distribución y dimensiones de parcela principal (cultivar) y subparcela (nivel de nitrógeno) utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto	

a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	34
Figura 10. Eliminación de follaje de las plantas de papa para estimular la suberización de la cáscara del tubérculo (labor de chapea realizada a los 104 dds) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	35
Figura 11. Cosecha, recolección e identificación de tubérculos de plantas muestreadas por tratamiento durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	36
Figura 12. Metodología realizada para la clasificación de tubérculos de plantas muestreadas por tratamiento durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	37
Figura 13. Proceso de medición de porcentaje de materia seca, con hidrómetro especial para tubérculos de papa (A: Hidrómetro y canasta para medición; B: muestra preparada para la medición; C: ejemplo de medición de porcentaje de materia seca), durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Estación Experimental Carlos Durán (INTA), Potrero Cerrado, Oreamuno, Cartago, 2019.	39

- Figura 14.** Metodología utilizada para la medición de incidencia de Corazón Vacío en tubérculos de categoría IV (A: Corte transversal a tubérculo de papa; B: tubérculo sano sin síntomas de Corazón Vacío; C: ejemplo de evaluación de porcentaje de incidencia de Corazón Vacío) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019. 40
- Figura 15.** Presencia de la enfermedad roña en tubérculos de papa, síntomas ocasionados por *Spongospora* sp. y/o *Streptomyces* sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019. 41
- Figura 16.** Presencia de canchales negros en tubérculo de papa, síntoma ocasionado por *Rhizoctonia* sp durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019. 41
- Figura 17.** Representación visual de escala utilizada para categorizar los síntomas de roña y de *Rhizoctonia* sp., durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019. 42
- Figura 18.** Diagrama de vectores con los componentes principales para las variables evaluadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de

papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	46
Figura 19. Efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento de los cultivares promisorios CIP396009,240 y CIP398017,53 con respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	48
Figura 20. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento promedio de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240, CIP398017,53 y la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	49
Figura 21. Rendimientos promedio de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240, CIP398017,53 y la variedad comercial Granola durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno. Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	52
Figura 22. Rendimiento de papa obtenido durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 (A) y CIP398017,53 (B), con respecto a la variedad comercial Granola (C), Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	53
Figura 23. Distribución porcentual de pesos de tubérculos durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP396009,240 (A) y CIP398017,53 (B) respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	56
Figura 24. Acumulación de materia seca durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la	

variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	57
Figura 25. Desarrollo de cobertura foliar (59 dds) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	58
Figura 26. Acumulación de materia seca durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	59
Figura 27. Incidencia de Corazón vacío en tubérculos de papa categoría IV (> 300 g) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	61
Figura 28. Índice de severidad de la enfermedad roña durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	63
Figura 29. Índice de severidad de <i>Rhizoctonia</i> sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.	64

RESUMEN

El trabajo se realizó en la localidad de Tapezco (1960 msnm) de Zarcero, Alajuela Costa Rica, entre los meses de mayo y setiembre del 2019. El propósito fue evaluar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno (N) en el comportamiento agronómico de dos cultivares promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.), CIP396009,240 y CIP398017,53, los que se compararon con la variedad comercial Granola. Se determinó rendimiento, clasificación de tubérculos en categorías según el peso, porcentaje de materia seca, incidencia de corazón vacío y porcentaje de afectación a los agentes causales de la enfermedad roña y *Rhizoctonia* sp. Los tratamientos consistieron en cuatro dosis diferentes de nitrógeno, 80, 120, 160 y 200 Kg N por hectárea. Los otros nutrientes fueron suplidos en cantidades iguales en todos los tratamientos.

Se encontró diferencias entre las dosis utilizadas y entre cultivares. Los cultivares promisorios evaluados presentaron un rendimiento promedio de 30 t/ha, cerca de un 70% de los tubérculos correspondieron a las categorías comerciales. Además, acumularon mayor cantidad de materia seca y fueron más tolerantes a los agentes causales de la enfermedad roña y *Rhizoctonia* sp. Sin embargo, tienden a producir tubérculos con peso superior a los 300 g que los hace susceptibles al defecto fisiológico de corazón vacío. Se concluyó que los cultivares evaluados tienen demandas diferentes de N por lo que se debe de diseñar el manejo nutricional específico para cada uno. Los cultivares promisorios tienen potencial de beneficiar a los productores paperos del país ya que se mejorarían los rendimientos por hectárea con tubérculos que se pueden comercializar como producto fresco o en agroindustria incidiendo positivamente en la economía de los agricultores.

ABSTRAC

The work was carried out in the town of Tapezco (1960 m.a.s.l.) of Zarcero, Alajuela Costa Rica, between the months of May and September of 2019. The purpose was evaluating the effect of increasing levels of nitrogen (N) on the agronomic behavior of two promising potato crops (*Solanum tuberosum* L.), CIP396009,240 and CIP398017,53, which were compared with the commercial variety Granola. The performance, classification of tubers into categories according to weight, percentage of dry matter, incidence of empty heart and percentage of involvement to the causative agents of the disease “Roña” and *Rhizoctonia* sp. were determinate. The treatments consisted of four different doses of nitrogen, 80, 120, 160 and 200 Kg N/ha. The other nutrients were supplied in equal amounts in all treatments.

Differences were found between the doses used and between cultivars. The promising cultivars evaluated showed an average yield of 30 t/ha, about 70% of the tubers corresponded to the commercial categories. In addition, they accumulated more dry matter and were more tolerant to the causative agents of the disease “Roña” and *Rhizoctonia* sp. However, they tend to produce tubers with weight greater than 300 g that make them susceptible to the physiological defect of a hollow heart. It was concluded that the cultivars evaluated have different demands of N, so the specific nutritional management for each one must be designed. Promising cultivars have the potential to benefit the country's potato producers as yields per hectare would be improved with tubers that can be marketed as fresh product or in agribusiness, positively impacting the farmers' economy.

1 INTRODUCCIÓN

El tubérculo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) juega un papel importante en la alimentación mundial, al ser un alimento básico en la dieta de las personas. Se le considera el alimento no cerealero número uno por su alta producción, facilidad de manejo y el gran contenido de energía, lo que lo ha convertido en un valioso producto comercial para millones de agricultores (FAO 2008). En los últimos cinco años, la producción promedio anual ha superado los 350 millones de toneladas de papa en todo el mundo (FAO 2018).

Un aspecto característico del cultivo de la papa es que se cultiva en cinco continentes. En el año 2018, Asia fue el continente con la mayor área cosechada, 9.303.199 ha con un rendimiento promedio de 20,29 t/ha. Posteriormente, le siguió África, y luego América con 1.578.249 ha y un promedio de producción de 29,52 t/ha, y por último, Oceanía, que tuvo el menor área, pero el rendimiento más alto, 42,13 t/ha (FAO 2018).

Debido al gran volumen de producción y a su alto valor nutricional, la papa es un cultivo importante para la seguridad alimentaria global, ya que contribuye a las necesidades energéticas y de nutrientes de millones de personas (CIP 2015 y Serrano *et al.* 2015). En términos de consumo humano, algunos autores lo catalogan como el tercer o cuarto cultivo más importante después del arroz, trigo y maíz (Vreugdenhil *et al.* 2011; CIP 2015 y Serrano *et al.* 2015).

De acuerdo con CIP (2015), en los inicios de los años 60 el aumento en las áreas de producción de papa superó rápidamente a otros cultivos alimenticios de países en desarrollo, naciones que hoy producen cerca del 60% de la producción global. Lo anterior hace que dicho tubérculo sea un valioso producto comercial que incide positivamente en la economía de muchos agricultores de más de 100 países, ya que solamente una pequeña parte de la producción total entra al mercado internacional. De esta forma, los precios se determinan por los mercados locales, y no por las fluctuaciones del mercado mundial (Serrano *et al.* 2015).

En Costa Rica, en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018 se tuvo un área de siembra estimada en 3.643,8 ha con una producción promedio de 89.698,2 toneladas, y un rendimiento promedio de 24,6 t/ha (Mora y Quirós, 2019 y FAO 2018). Además, en el año 2015 la papa fue la segunda hortaliza más consumida en los hogares costarricenses, su consumo per cápita fue de 18,42 kilogramos por habitante por año (PIMA 2016).

Debido a que la papa requiere de un clima frío con temperaturas frescas para su crecimiento y tuberización, el tubérculo se cultiva principalmente en dos regiones de Costa Rica. La provincia de Cartago tiene la mayor área de siembra, cerca del 80% y la segunda zona de producción es el cantón de Zarcero. Ambos lugares se caracterizan por tener hasta la fecha las condiciones climáticas apropiadas para establecer el cultivo en tierras con altitud mayor a los 1500 msnm. Otros sitios donde actualmente se produce papa son La Cima de Dota, San Pedro de Poás, la parte alta de Heredia, Naranjo, la zona alta de las Juntas de Abangares y San Vito de Coto Brus (Avilés y Piedra 2017). La mayoría de las siembras son de pequeños y medianos productores con áreas menores a cinco hectáreas (INEC 2015).

1.1 Justificación

En Costa Rica, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la Dirección de Investigaciones Agrícolas (DIA) y posteriormente el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), desde los años ochenta han tenido la labor de introducir al país clones avanzados para continuar el proceso de mejoramiento genético, esto involucra las etapas de introducción, generación, evaluación, selección, validación y liberación de nuevos cultivares (Avilés y Piedra 2017).

Las variedades inscritas como Floresta, Granola y Única son las más comunes de encontrar en las diferentes zonas productoras. No obstante, en el país también se dispone de nuevos cultivares introducidos del Centro Internacional de la Papa (CIP), los cuales se someten a un proceso de evaluación y selección antes de ser liberados. Los cultivares además de cumplir características para el consumo fresco o de industria, deben tener resistencia a plagas y enfermedades y tener un potencial

de rendimiento igual o mayor a las variedades ya liberadas. El objetivo que se desea lograr es que el agricultor nacional disponga de más cultivares de papa con mayor resistencia, mayor calidad y con alta productividad¹.

Durante el periodo comprendido entre el 2015 y 2017, el INTA realizó evaluaciones de una colección enviada por el CIP de 200 clones con resistencia al tizón tardío, enfermedad de mayor importancia a nivel foliar causada por el oomycete *Phytophthora infestans*, en donde se seleccionaron varios cultivares promisorios entre ellos los clones CIP396009,240 y CIP398017,53. A estos dos materiales se le han evaluado parámetros de resistencia al tizón tardío y a la mosca minadora (*Liriomyza luidobrensis*), además de color, forma, color de pulpa, profundidad de ojos del tubérculo, altura de la planta, rendimiento, contenido de sólidos totales y susceptibilidad a *Erwinia* sp., *Fusarium* sp. y *Rhizoctonia* sp., igualmente caracterizaciones fenológicas y pruebas regionales para su inscripción (Avilés y Piedra 2017).

Los dos clones promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, producen tubérculos de cáscara y pulpa color amarillo y se les considera potenciales porque podrían llegar a reemplazar la variedad comercial Granola que es muy cotizada en el mercado nacional. Estos materiales se han evaluado en las zonas de Cartago y Zarcero con resultados diferentes. En Zarcero los tubérculos han presentado problemas de calidad en post cosecha y se le ha relacionado a un problema nutricional asociado al nitrógeno, ya que las dosis aplicadas a estos materiales experimentales han sido las mismas aplicadas a los cultivares comerciales, sin embargo, hasta el momento no hay estudios que verifiquen lo anteriormente indicado¹.

Por lo anterior, en este trabajo se realizó una comparación del comportamiento agronómico obtenido entre los cultivares promisorios y la variedad comercial Granola, sometidos a niveles crecientes de nitrógeno, en la finca La Esperanza ubicada en el cantón de Zarcero.

¹ Mora, J. 2018. Trabajos de investigación con cultivares promisorios de papa (entrevista). San José, CR, INTA.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento agronómico de dos cultivares promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) respecto al de la variedad comercial Granola en la finca La Esperanza ubicada en el cantón de Zarcero, Alajuela, Costa Rica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre la producción de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53.
- Evaluar el efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre la calidad post cosecha de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53.
- Comparar el comportamiento agronómico de los cultivares promisorios de papa, CIP396009,240 y CIP398017,53, respecto a la variedad comercial Granola.
- Estimar el beneficio marginal de producción de los cultivares promisorios de papa, CIP396009,240 y CIP398017,53, respecto a la variedad comercial Granola.

1.2.3 Hipótesis de Investigación

Al menos uno de los dos cultivares promisorios de papa evaluados tiene un comportamiento agronómico superior respecto a la variedad comercial Granola.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Requerimientos climáticos

El cultivo de papa requiere de un clima frío, las temperaturas óptimas para el crecimiento y tuberización comprende entre los 15 °C y los 25 °C. Las lluvias deben de estar distribuidas durante todo el ciclo, necesita de 400 a 800 mm en las etapas más críticas, que son la formación de tubérculos y floración (Avilés y Piedra 2017).

La planta de papa es termoperiódica, esto significa que la magnitud en la variación entre la temperatura diurna y nocturna es más importante que la temperatura media diaria. Se considera que esta diferencia debe ser de al menos 10 °C, ya que, si es menor, las plantas no crecen adecuadamente y los rendimientos son menores. Además, las plantas requieren que las temperaturas, desde la siembra hasta el inicio de la tuberización, sean relativamente altas para favorecer el crecimiento de tallos y hojas. Sin embargo, una vez que inicia la etapa de tuberización si la temperatura continúa siendo alta, los rendimientos y la calidad de la cosecha son menores (Bolaños 1998 citado por Avilés y Piedra 2017).

2.2 Zonas de producción de papa

Las principales zonas en donde se cultiva la papa se encuentran en las provincias de Cartago, Alajuela y recientemente San José. Cartago concentra casi el 80% de las áreas de siembra, comprende desde Ochomogo hasta las faldas de los volcanes Irazú y Turrialba. Los tres cantones con mayor área de papa es Alvarado, Oreamuno y Cartago. La región posee altitudes que van desde los 1.500 msnm hasta los 3200 msnm. Presenta temperaturas apropiadas para el cultivo, oscilan entre 7 °C y 25 °C y con precipitaciones promedio que van desde los 1400 a 2600 mm anuales (Avilés y Piedra 2017).

La segunda zona de mayor producción es el cantón de Zarcerro, ubicado en la provincia de Alajuela. Los distritos en donde se produce el tubérculo principalmente son Tapezco, Palmira y Las Brisas, posee altitudes que van desde los 1500 msnm hasta los 2050 msnm, tiene una precipitación promedio de 2200 mm con una temperatura promedio de 18 °C (Avilés y Piedra 2017).

2.3 Áreas de siembra, producción y rendimientos nacionales

En las Figuras 1 y 2 se puede apreciar que los lugares con mayor área de siembra y con mayor producción de papa para el periodo comprendido entre el 2015 y 2018 fueron los cantones de Alvarado, Oreamuno, Zarcero y Cartago, respectivamente. Los cantones de Zarcero, Oreamuno y Cartago sobrepasaron las 15.000 t, sin embargo, Alvarado sobrepasó las 20.000 t (Mora y Quirós 2019)

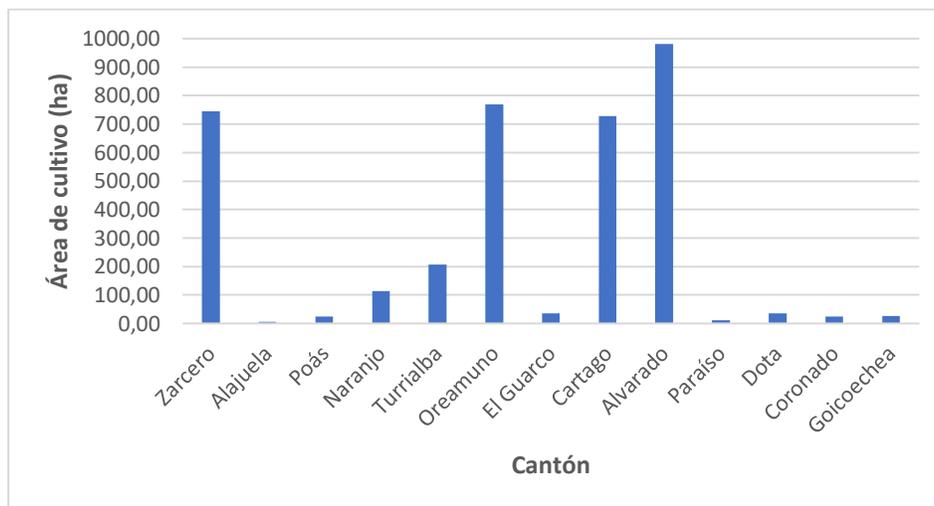


Figura 1. Área de siembra promedio del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Mora y Quirós (2019).

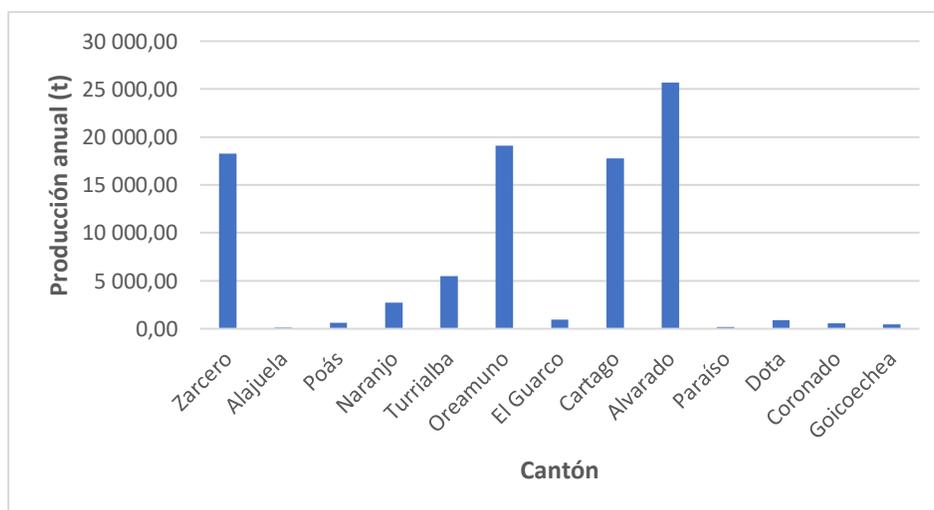


Figura 2. Producción de papa promedio del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica

Fuente: Elaboración propia con datos de Mora y Quirós (2019).

En cuanto al rendimiento nacional de producción de papa para el periodo 2015-2018 fue de 20,5 t/ha/año. En la Figura 3, se aprecia que los cantones que tienen los mejores rendimientos son los que pertenecen a la provincia de Cartago, además del cantón de Zarcero, en donde se aproximan o sobrepasan la cifra de 25 t/ha.

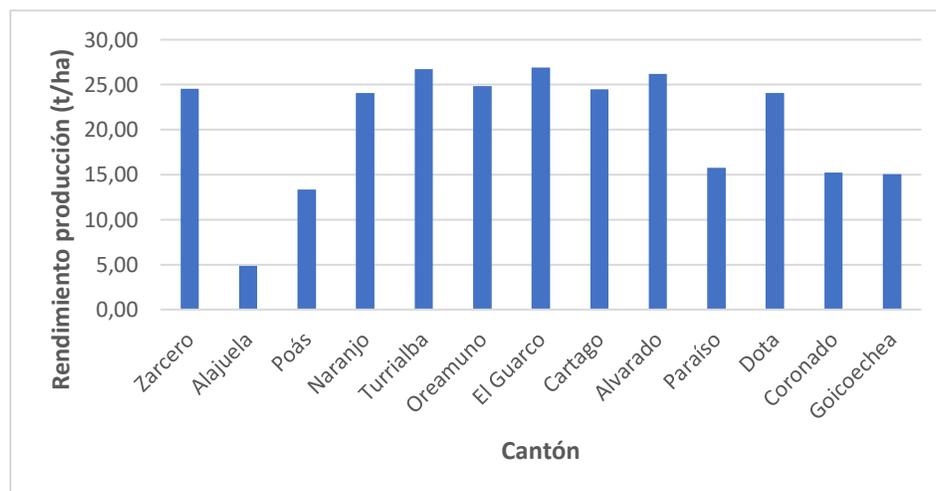


Figura 3. Rendimientos de producción del cultivo de papa durante el periodo 2015-2018 en cantones de Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Mora y Quirós (2019).

2.4 Manejo agronómico del cultivo de papa

2.4.1 Fases Fenológicas

La papa tradicionalmente se multiplica de forma vegetativa. Después de que se inicia el proceso de formación del tubérculo, este se desarrolla morfológica y fisiológicamente de manera continua. El periodo de tiempo que comprende desde su formación hasta la cosecha se denomina edad cronológica, mientras que la edad fisiológica se refiere principalmente al proceso de desarrollo de los brotes, que dependen de la edad cronológica como de las condiciones ambientales (Wiersema 1985).

Durante el desarrollo fisiológico, el tubérculo de papa atraviesa cuatro estados definidos: reposo, dominancia apical, brotación múltiple y senectud (Wiersema 1985, Beukema y van der Zaag 1990). Los mismos autores expresan que la calidad de los tubérculos de papa destinados a una nueva siembra está determinada por la sanidad y el estado fisiológico al momento de la siembra, esto

significa que cuando se utiliza semillas de una edad fisiológica vieja, el crecimiento de tallo o parte foliar es menos abundante, la iniciación de tubérculos se presenta más rápido al igual que la maduración del cultivo, y por lo general son plantaciones débiles y con baja producción.

A continuación, se describen los estados del desarrollo fisiológico del tubérculo de papa propuestos por Wiersema (1985):

2.4.1.1 Dormancia o reposo

En el periodo de dormancia o reposo no ocurre ningún tipo de crecimiento de brotes, aún cuando se someten en condiciones ambientales favorables (oscuridad, temperaturas de 15 °C a 20 °C, y cerca del 90% de humedad). Este periodo comprende desde el inicio de la tuberización hasta el término del reposo. Se define como fin de la etapa de reposo cuando el 80% de los tubérculos tienen brotes no menores de tres mm de longitud. La duración de este periodo depende de varios factores como la variedad, condiciones previas de crecimiento, temperaturas de almacenamiento, daños en el tubérculo, y grado de madurez del tubérculo al ser cosechado (Wiersema 1985).

2.4.1.2 Dominancia apical

Corresponde a la etapa en donde las yemas en los ojos del tubérculo empiezan a crecer y a formar brotes. Generalmente, el inicio de la etapa lo marca la yema apical cuando empieza a brotar. La duración de la dominancia apical varía mucho entre variedades y se ve afectada por el manejo en el almacenamiento y por el desbrotamiento (Wiersema 1985).

El manejo de almacenamiento se relaciona en manejar rangos de temperatura para controlar de mejor forma la brotación. Wiersema (1985) menciona que cuando se almacenan tubérculos a bajas temperaturas, 4 °C, hasta que termine la etapa de dominancia apical, y luego incrementar la temperatura de almacenamiento superior a los 15 °C estimulará el desarrollo de brotes múltiples. En el caso del desbrotamiento, consiste en la práctica de remover el brote apical cuando este se encuentra joven. Esto inducirá la formación de varios brotes en el

mismo tubérculo y tendrán un crecimiento uniforme originando varios tallos por planta.

Las dos prácticas anteriores tienen importancia en cuanto a los rendimientos de producción. Esto porque cuando se siembran tubérculos con dominancia apical es muy probable que se produzcan plantas con un solo tallo y por ende los rendimientos bajarán (Wiersema 1985).

2.4.1.3 Periodo de crecimiento múltiple

Sucede cuando existe un crecimiento uniforme de varios brotes en un mismo tubérculo. Generalmente es el estado óptimo para sembrar los tubérculos ya que originarán plantas con varios tallos. Este estado puede durar varios meses, pero varía según la variedad. La luz difusa es un factor que favorece el estado de brotamiento múltiple y mantiene los brotes cortos y fuertes (Wiersema 1985).

2.4.1.4 Senectud

En este estado los tubérculos ya no producen plantas productivas. Es fácil identificar un tubérculo en senectud cuando tienen una excesiva ramificación de brotes, los brotes son largos y débiles, y la producción de papas diminutas directamente en los brotes, antes de la siembra o durante la etapa de emergencia. Este estado puede ser retardado cuando se someten los tubérculos a temperaturas bajas (Wiersema 1985).

2.4.2 Periodo crecimiento vegetativo

Se caracteriza porque se marca el inicio de la fotosíntesis con la formación de tallos, ramas y hojas en la parte foliar, y en la parte subterránea la formación de raíces y estolones (Áviles y Piedra 2017). A continuación, se describen las etapas:

2.4.2.1 Germinación

En esta etapa los extremos de los brotes definirán qué órganos se desarrollarán. El extremo basal de un brote dará origen a raíces, luego estolones o tallos laterales, por otra parte, el extremo apical se encargará de formar hojas y representa el lugar de crecimiento de este (Huamán 1986 citado por Santos 2010). La etapa se determina la emergencia cuando el extremo apical de los brotes rompe la superficie del suelo y emerge el 50% de las plantas.

Paralelamente al crecimiento de los brotes en el estado fenológico de desarrollo de partes vegetativas, ocurre la formación de hojas inicialmente desde los primordios foliares hasta el desarrollo de hojas completas, el crecimiento foliar continúa durante el ciclo hasta que las plantas alcancen la madurez fisiológica (Allen 1978 citado por Santos 2010).

2.4.2.2 Inicio tuberización

Se caracteriza porque se empieza a observar la formación de tubérculos en las puntas de los estolones. Además, en la mayoría de los cultivares el inicio de la floración marca el fin de la tuberización (Avilés y Piedra 2017).

2.4.2.3 Llenado de tubérculos

Sucede cuando las células de los tubérculos se expanden con la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos. Los tubérculos se convierten en la parte dominante de la disposición de carbohidratos y nutrientes orgánicos (Avilés y Piedra 2017).

2.4.2.4 Maduración

La actividad fotosintética y el crecimiento del tubérculo empiezan a disminuir, causando que la planta empiece a tomar un color amarillento hasta morir. En este punto el tubérculo alcanza su máximo contenido de materia seca y tiene la piel bien formada (Avilés y Piedra 2017).

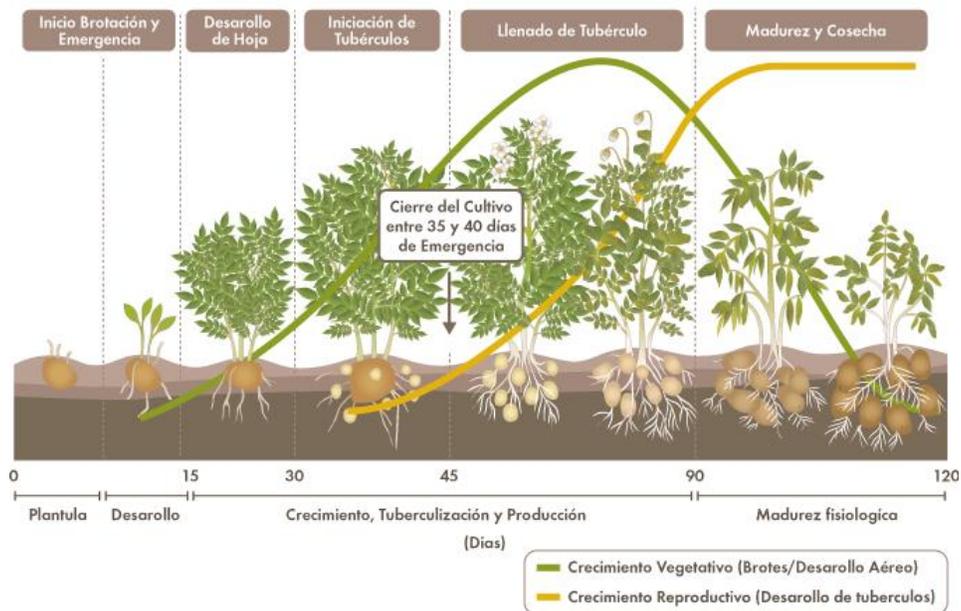


Figura 4. Fases de crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa.

Fuente: SQM-VITAS (s.f.).

2.5 Variedades de papa más utilizadas en Costa Rica

En Costa Rica se tienen variedades inscritas y cultivares promisorios que están próximos a ser liberados ante la Oficina Nacional de Semillas (ONS). Las variedades que están inscritas en el Registro de Variedades Comerciales de la ONS son Floresta, Granola, Atzimba, Tollocan, Idiafrit, Rosita, Desiree, Birris y Maleke (ONS 2018). Todas tienen características que las hace aptas para su consumo fresco o para ser utilizadas en la industria, la mayoría son de doble propósito (Avilés y Piedra 2017). A continuación, se describen las variedades más utilizadas por los agricultores de Costa Rica:

2.5.1 Floresta

Esta variedad ingresó al país en 1990, proviene del CIP de Perú y fue seleccionada de un total de 215 clones. Es una variedad altamente productiva, con tubérculos de forma ovalada, ojos superficiales, su piel es lisa y tiene la pulpa de color blanco. Se caracteriza porque su piel no se oscurece, aunque se mantenga por un largo periodo en el campo (Avilés y Piedra 2017).

La planta es de porte medio alto, su flor es de color blanco, hojas alternas de color verde pálido. Su contenido de sólidos varía entre 18 y 22%, ya que depende de la zona donde se cultiva y del manejo agronómico. Su ciclo de cultivo ronda entre los 120 días. Floresta se liberó como un material resistente al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), pero, su siembra constante ha hecho que la variedad tenga menos tolerancia a la enfermedad mencionada. Sin embargo, si se trabaja con fungicidas, la variedad presenta mayor poder de recuperación a la enfermedad. La variedad también es resistente a la polilla de la papa (*Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*) y a la mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) (Avilés y Piedra 2017).

Avilés y Piedra (2017) mencionan que con una buena calidad de siembra se puede llegar a producir 40 t/ha. La variedad se caracteriza por tener buenas cualidades culinarias, en la industria se comporta muy bien en hojuelas y papas a la francesa.

En el mercado nacional Floresta está muy bien posicionada, los productores la prefieren por sus altos rendimientos y por ser un tubérculo blanco, su área de siembra corresponde al 80% de las tierras paperas del país. Esta variedad la siembra productores grandes, medianos y pequeños, de igual forma se puede utilizar en la agricultura familiar (Avilés y Piedra 2017).

2.5.2 Granola

La variedad Granola es originaria de Alemania, ingresó al país en 1985 y fue introducida por la cooperativa COOPETIERRABLANCA R.L. La planta puede llegar alcanzar los 70 cm de altura; presenta poca floración a los 35-40 días después de siembra (dds) y sus flores son de color lila; la piel del tubérculo es lisa y de color amarillo, al igual que su pulpa, son de forma redondos y sus ojos son superficiales, el porcentaje de sólidos ronda el 19%. La variedad Granola es resistente al virus del enrollamiento (PLRV) pero susceptible al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y al pie negro (*Erwinia carotovora*). Su altura ideal es de 2000 a 2500 msnm, por ejemplo, Tierra Blanca de Cartago. También se adapta muy bien en época de verano en Zarcero, lugar donde se siembra la mayor área de esta variedad. Su uso

es para consumo fresco y si se cuenta con buena semilla y adecuado manejo agronómico se puede llegar a obtener producciones de 40 t/ha (Avilés y Piedra 2017).

2.5.3 Única

Fue introducida a Costa Rica en el año 2008 por el INTA, proviene del CIP de Perú. Es una planta herbácea de crecimiento erecto, tallos gruesos de color verde oscuro, y de porte alto, entre 0,9 a 1,2 m. Las hojas son compuestas distribuidas sobre el tallo en forma de espiral, la hoja tiene forma disectada con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los peciólulos, presentan una floración moderada con flores de color lila, y produce tubérculos grandes de forma oval y alargados, los ojos son superficiales y su piel es de color rosado oscuro. La pulpa es de color crema y un contenido de sólidos entre el 22% y 23%. Su ciclo es de 70 a 90 dds en tierras de 2.000 a 3.000 msnm y de 90 a 110 dds en tierras de 0 a 1500 msnm. La producción alcanza rendimientos de hasta 45 t/ha. Se usa para consumo fresco e industria, especialmente para hojuelas (Gutiérrez *et al.* 2007; Avilés y Piedra 2017).

A finales del año 2011 el INTA liberó tres nuevas variedades (Pasquí, Kamuk y Durán) que tienen resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), mejor rendimiento y alta calidad para consumo fresco o para ser utilizada en la industria. Estas variedades de papa ingresaron a Costa Rica, procedentes del CIP en el año 2004 y fueron presentadas en el 2007 como materiales promisorios. El proceso de selección y evaluación continuó enfocado en el tema de estabilización y adaptación en las zonas productoras de papa del país. Debido al alto potencial productivo y a la resistencia a plagas y enfermedades, se procedió a la liberación. Los materiales fueron considerados para todas las zonas paperas del país según INTA (2012). A continuación, se describen las variedades:

2.5.4 Pasquí

Tiene un rendimiento de 35 t/ha. Tiene resistencia al tizón tardío. Se utiliza en consumo fresco y en industria, pues presenta buenas características para tostar. Es de porte erecto similar a la Floresta, su ciclo es de 105 días, con flores de color

rosado, de pulpa fuerte y de color amarillo, su piel es de color rojizo y presenta de 21 a 22% de materia seca. El tiempo para poder cosecharla a los 105 días. Concentra la producción cerca del tubérculo madre (INTA 2012 y Avilés y Piedra 2017).

2.5.5 Kamuk

Tiene un rendimiento promedio de 50 t/ha. La planta es de crecimiento erecto con foliolos de hojas pequeñas de color verde pálido y con flores de color blanco, las plantas son de un metro de alto. Es muy apropiada para el consumo fresco. Tiene de 21 a 22% de materia seca. Los tubérculos son grandes de forma ovalada, tiene piel y pulpa de color crema y ojos rosados. El tiempo a cosecha es de 100 a 110 días. Presenta alta resistencia a plagas. Tiene alta resistencia al tizón tardío y al virus PVX. Es susceptible al virus del enrollamiento de las hojas de la papa (PLRV) (INTA 2012 y Avilés y Piedra 2017).

2.5.6 Durán

Su rendimiento es de 50 t/ha. El porte de la planta es robusto y la flor es de color blanco. Tiene de 21 a 22% de materia seca. Tiempo de cosecha es de 105 días. Apropriada para el consumo fresco. El tubérculo es oval-redondeado, su piel es lisa y de color crema, mismo color que su pulpa. Tiene alta resistencia a plagas. Posee resistencia al tizón tardío y al virus PVX (INTA 2012 y Avilés y Piedra 2017).

2.6 Características de suelos productores de papa en Costa Rica

Las dos principales zonas de producción de papa en Costa Rica se caracterizan por tener suelos del orden Andisol. Por lo general, son suelos de color negro en la superficie y de color café con la profundidad, se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos, tienen altos contenidos de materia orgánica, poseen buena acumulación de humus, tienen alta productividad, buen drenaje y son de textura media, la cual es una característica ideal para el establecimiento del cultivo de la papa (INTA 2015).

2.7 Características deseables en materiales promisorios

De acuerdo con Vreugdenhil *et al.* (2011) expresan que los nuevos cultivares de papa deben aportar beneficios económicos mediante la mejora en los rendimientos de producción. Los tubérculos deben contar con características que faciliten la comercialización y deben de tener bajos costos de producción, independientemente si es para industria o consumo fresco. Además, deben de tener resistencia a plagas y enfermedades que den beneficios al ambiente para reducir la carga química de fungicidas y pesticidas. Igualmente, deben ser más eficientes en el consumo de agua y absorción de nutrientes y así realizar un mejor uso del agua y aprovechamiento de los fertilizantes. Finalmente, los nuevos cultivares deben ayudar a encontrar un balance con la demanda de consumo y ser mejores nutricionalmente brindando beneficios a la salud de las personas.

Relacionado a lo anterior, los trabajos que ha venido realizando el INTA en estos años anteriores se han enfocado en dichos aspectos. Las características que han establecido en diferentes evaluaciones se han dirigido en que todo cultivar promisorio debe cumplir con los siguientes aspectos: Cultivares aptos para el mercado nacional, resistencia a plagas y enfermedades, alta productividad, estabilidad en la producción, buena adaptación a diferentes manejos, precocidad y características óptimas para la comercialización como producto fresco e industria (Mora 2019) ².

2.8 Características de cultivares promisorios de papa evaluados en el presente estudio

En los Cuadro 1 y 2 se presentan características generales del aspecto físico, resistencia a plagas y enfermedades, y valores nutricionales de los cultivares promisorios CIP396009,240. y CIP398017,53. Igualmente, en las Figuras 5 y 6 se muestra gráficamente algunos órganos de estos cultivares promisorios.

² Mora, J. 2019. Trabajos de investigación con cultivares promisorios de papa (exposición oral). San José, CR, INTA.

Cuadro 1. Características generales del cultivar de papa promisorio CIP396009,240 utilizado durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

Características generales	Especificación
Características físicas	<p>El color predominante de la piel es blanco-crema</p> <p>El color secundario de piel del tubérculo es rosado distribuido en los ojos</p> <p>La forma del tubérculo es oblongo</p> <p>El color predominante de pulpa del tubérculo es amarillo claro</p> <p>La profundidad de los ojos del tubérculo es superficial</p>
Factores bióticos	Moderadamente resistente al Tizón tardío (LB)
Factores abióticos	Se adapta a los Trópicos altos
Características agronómicas	El rendimiento de tubérculos es de 0,93 Kg/planta
Características después de la cosecha	<p>Presenta un 23% de materia seca</p> <p>El color de las hojuelas es claro</p> <p>El color en papas a la francesa es claro</p>
Concentración de nutrientes en los tubérculos	En 100 g de su peso seco tiene un contenido promedio de 98,81 mg de Vitamina C. Además, 15,62 mg de Fe y 12,69 mg de Zn por cada Kg de su peso seco.

Fuente. Elaboración propia con datos de CIP (2018)

Cuadro 2. Características generales del cultivar promisorio CIP398017,53 utilizado durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Características generales	Especificación
Características físicas:	El color predominante de la piel es blanco-crema
	No tiene un color secundario de piel en el tubérculo
	La forma del tubérculo es oblonga
	El color predominante de pulpa del tubérculo es crema
	La profundidad de los ojos del tubérculo es superficial
Factores bióticos	Resistente al Tizón tardío (LB)
	Susceptible al virus X de la papa (PVX)
	Resistente al virus Y de la papa (PVY)
Factores abióticos	Es tolerante al calor
	Se adapta a los Trópicos intermedios
Características agronómicas	El rendimiento de tubérculos es de 0.92 Kg/planta
Características después de la cosecha	Presenta 21% de materia seca
	El color de hojuelas es moderadamente oscuro
	La calidad de cocción es totalmente sólido y firme
	El oscurecimiento después de la cocción es claro
	Textura después de la cocción es harinoso
	Su sabor es intermedio

Fuente. Elaboración propia con datos de CIP (2018).

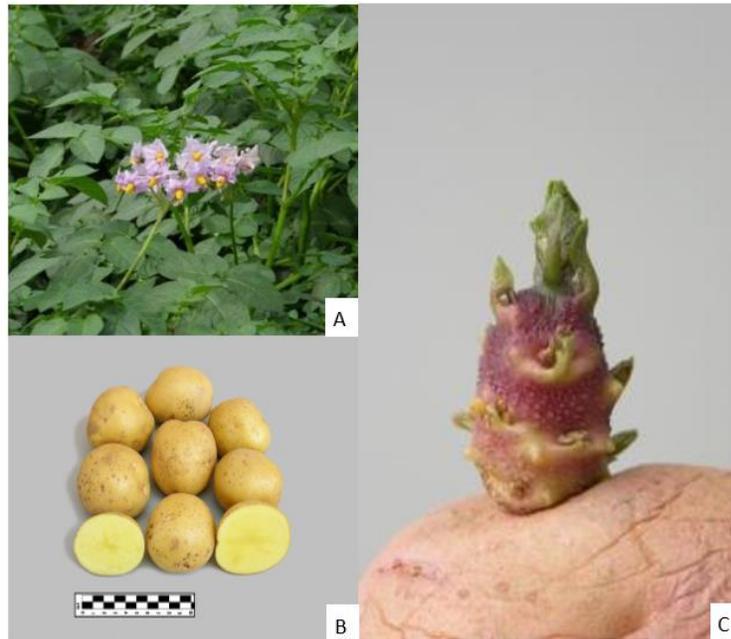


Figura 5. Representación gráfica del cultivar promisorio CIP396009,240 (A: Follaje e inflorescencia; B: Tubérculos de papa; C: Brote en semilla).
Fuente. CIP (2018).

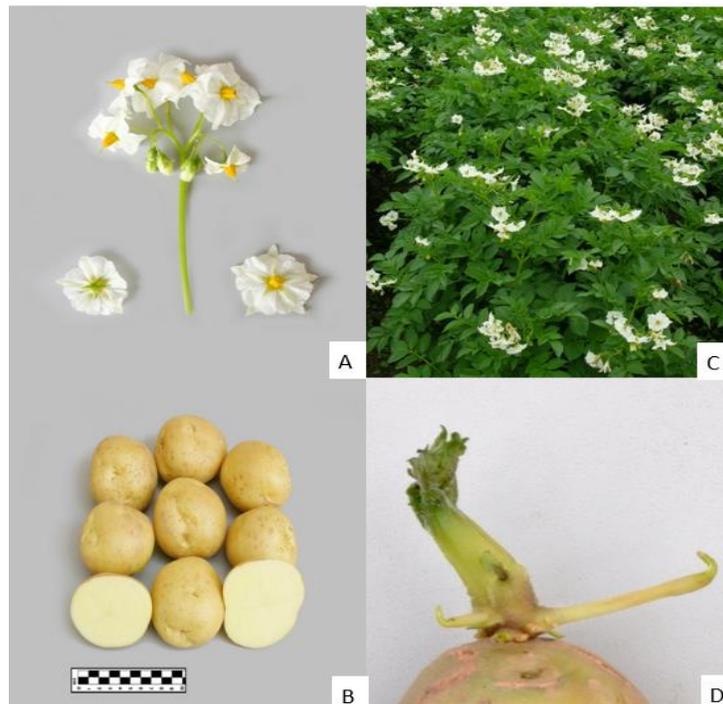


Figura 6. Representación gráfica de cultivar promisorio CIP398017,53 (A: Inflorescencia; B: Tubérculos de papa; C: Inflorescencia y follaje; D: Brote en tubérculo semilla).
Fuente. CIP (2018).

2.9 Trabajos de investigación y evaluaciones realizados en cultivares promisorios CIP398017,53 y CIP396009,240

En el año 2016, en la localidad de San Luis de Zarcero (1450 msnm) se estableció y valoró la respuesta agronómica de 37 cultivares, los cuáles fueron seleccionados por el Centro Internacional de la Papa (CIP) por su tolerancia al calor y la variable de rendimiento comercial. En dicho trabajo, el cultivar CIP398017,53 se seleccionó como material promisorio. Lo anterior, basados en la forma oblonga del tubérculo, el color blanco-crema de la epidermis, y el color crema de la pulpa, tres características esenciales para la comercialización de papa en nuestro país. Igualmente, este mismo cultivar fue seleccionado por su rendimiento, resistencia al tizón tardío, y criterios de comercialización. En el estudio se logró obtener un rendimiento promedio en Kg/parcela útil de 2,43 Kg de primera (tubérculo mayor a 200 g), 1,32 Kg de segunda (tubérculos de 100 g a 200 g) y 0,850 Kg de papa tercera (tubérculo menor a 100 g) (INTA 2017).

En el 2017, se vuelve a evaluar el cultivar CIP398017,53 en la localidad de Guadalupe (1770 msnm) de Zarcero. En esta ocasión se reportó un rendimiento de 126 g/planta, en donde se distribuyó de la siguiente forma: 55,2 g fueron de tubérculos comerciales con un peso mayor a 200 g, 24,5 g de 100 a 200 g, y 47,3 g tubérculos menores a 100 g. (INTA 2018). El bajo rendimiento fue producto de un fuerte ataque de la enfermedad conocida como “tallo hueco o pie negro” causada por el agente *Erwinia* sp (Mora 2019)². Sin embargo, lo que más sobresalió en este cultivar fue su resistencia a *Phytophthora infestans* en comparación a otros cultivares promisorios y comerciales (INTA 2018).

En el año 2018, se tuvo la oportunidad de evaluar diez cultivares procedentes del CIP que conformaban la colección del 2011. La evaluación se desarrolló en los distritos de Pueblo Nuevo (2200 msnm) y Palmira (2000 msnm) del cantón de Zarcero y en Poás (1800 msnm). Se evaluaron variables de rendimiento y la respuesta ante la incidencia de plagas de follaje como *Liriomyza* sp., lesiones en el tubérculo originadas por *Spongospora subterranea*, la cual es común encontrar en suelos paperos de Zarcero. En el ensayo, sobresalió el cultivar CIP398017,53 con

tener resistencia a la mosca minadora, (*Liriomyza* sp.), a la enfermedad de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y con tolerancia a la enfermedad de sarna causada por *Spongospora subterranea* (INTA 2019).

A finales del mes de agosto del 2019 en la localidad de Palmira de Zarcero el INTA y el MAG de Zarcero organizaron un día de campo con productores y técnicos en donde se mostraron las diferentes actividades de investigación que se han realizado en el cantón de Zarcero. Uno de ellos fue la evaluación de nuevos materiales de papa durante el periodo 2011 y 2019 utilizando cultivares de la colección 2011 y 2017. Algunos de los resultados en cuanto a los cultivares promisorios CIP398017,53 y CIP396009,240, y la variedad comercial Granola se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rendimientos de producción de cultivares promisorios CIP398017,53 y CIP396009,240, y la variedad comercial Granola en tres diferentes localidades de la provincia de Alajuela, 2018.

Localidad	Cultivar	Kg/planta	Kg/ha
Pueblo Nuevo	CIP398017,53	0,92	36,92
	CIP396009,240	0,77	28,68
	Granola	0,46	18,40
Palmira	CIP398017,53	0,97	38,88
	CIP396009,240	0,98	39,32
	Granola	0,48	19,32
Poás	CIP398017,53	0,63	25,00
	CIP396009,240	0,65	25,84
	Granola	0,42	16,76

Fuente. Elaboración propia con datos expuestos por Mora (2019) ².

En cuanto al cultivar promisorio CIP396009,240, se mostró que tiene moderada resistencia a la *Rhizoctonia*, alta resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), baja resistencia a *Liriomyza* sp. y moderada resistencia a la enfermedad conocida como pie negro Mora (2019) ². Además, este mismo cultivar sobresale por su aporte en el valor nutricional con la vitamina C (98,81 mg/100g en peso seco),

y por su contenido de hierro y de zinc, 15,82 y 12,69 mg/Kg en peso seco, respectivamente Mora (2019) ².

2.10 Manejo de distancias de siembra y densidades en el cultivo de papa

En la zona de Pacayas de Alvarado, Cartago se realizó un estudio sobre las distancias de siembra y su efecto en el rendimiento en la variedad Pasqui. Se utilizaron cuatro distancias de siembra producto de la combinación entre dos distancias de hilera (0,8 m y 1,0 m) y dos distancias entre plantas (0,2 m y 0,3 m). En los resultados encontraron que en la producción total, así como en la categoría de terceros tamaños se hallaron diferencias significativas debido a la variación entre las distancias de hieleras, distancia entre plantas y su interacción (hilera*planta). El tratamiento de 0,8 m x 0,3 m presentó un rendimiento promedio de 15,9 Kg/parcela de 25 plantas y superó a los otros tratamientos cuyos rendimientos fueron de 11,4 Kg/parcela; 11,07 Kg/parcela y 10,7 Kg/parcela (INTA 2017).

2.11 Generalidades del nitrógeno en el cultivo de papa

2.11.1 Nitrógeno

Junto con el carbono, hidrógeno y oxígeno, el nitrógeno es el elemento más importante en el crecimiento vegetativo de tejidos. Este elemento es tomado por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) y es usado por la planta para hacer clorofila, aminoácidos, proteínas, y ácidos nucleicos. Las fertilizaciones nitrogenadas promueven el crecimiento vegetativo, si la aplicación es inapropiada, podría resultar en retrasos en la maduración del cultivo y por ende una reducción en el rendimiento de los cultivos. Los síntomas de deficiencia incluyen retraso en el crecimiento y colores amarillentos en las hojas, clorosis, que es el resultado de bajos contenidos de clorofila o en la destrucción de clorofila causada por la deficiencia del mineral o ataques de patógenos. Los síntomas de clorosis inician en las hojas viejas, las cuales se encuentran en parte inferior de la planta y empiezan a progresar a partes superiores cuando la deficiencia empeora. El nitrógeno es altamente soluble en agua y es un elemento con características de movilidad muy altas, así que puede haber pérdidas en el suelo por lixiviación, escorrentía, ser atrapado en los coloides del suelo, o ser tomado por las plantas (Arteca 2015).

2.11.2 Fuentes de nitrógeno

Las fertilizaciones de nitrógeno en papa son suplidas en tres formas, compuestos amoniacales, nitratos y urea. Algunos ejemplos de fuentes de nitrógeno son la úrea (46% N), sulfato de amonio (21% N), nitrato de amonio (33% N), nitrato de calcio (15.5% N) y nitrato de potasio (13% N) (Oyarzún *et al.* 2002). Algunos de los compuestos anteriores se utilizan como materia prima para formular fertilizantes compuestos de N-P-K, fórmulas como 10-30-10, 12-24-12, 10-20-20 o 15-3-31 son las más comunes de encontrar en Costa Rica. Además de las fuentes orgánicas de N, como la gallinaza, pollinaza o estiércol de vaca.

Oyarzún *et al.* (2002) mencionan que para elegir la fuente de nitrógeno se debe de prestar especial atención al pH y contenido de nutrientes del suelo tomando en cuenta la concentración, solubilidad, poder acidificante, y el costo. Los autores expresan que para reducir las posibles pérdidas se recomienda hacer las aplicaciones de nitrógeno fraccionadas, aplicando la mitad en la siembra y restante en la labor de aporca.

2.11.3 Absorción y asimilación de nitrógeno en plantas

Los compuestos nitrogenados que son absorbidos de la solución del suelo necesitan ser asimilados para poder entrar al metabolismo de la planta. En las fuentes amoniacales existe la participación de la enzima ureasa que convierte el elemento en una forma químicamente más disponible y lo incorpora en moléculas orgánicas mediante procesos enzimáticos. Caso contrario sucede con los nitratos, que antes de que las plantas lo utilicen necesitan ser reducidos en formas amoniacales por la acción de enzimas nitrato y nitrito reductasas (Vreugdenhil *et al.* 2007).

La preferencia de las plantas por utilizar el amonio o el nitrato es determinada principalmente por el tipo de planta y el ambiente. Kass (2007) expresa que las solanáceas como la papa, tomate, y tabaco necesitan una relación nitrato/amonio alta, lo que significa que absorben mejor las formas nítricas que las amoniacales.

La mejor fuente de nitrógeno para las plantas es el amonio, esto porque utiliza menos energía para convertir el nitrógeno en proteína. Caso contrario sucede en la reducción de nitratos, en donde se utilizan dos moléculas de NADH por cada ion nitrato reducido cuando se sintetizan proteínas. Otra ventaja del amonio es que es menos susceptible a las pérdidas en el suelo por lixiviación y desnitrificación (Kass 2007).

Cuando las plantas se fertilizan con amonio pueden tener mayores contenidos de carbohidratos y proteínas en comparación con plantas fertilizadas con nitratos. Sin embargo, altas dosis de amonio pueden provocar reacciones tóxicas como por ejemplo un retraso en el crecimiento, delimitar la absorción de potasio con la consecuencia de que se presenten síntomas de deficiencia de este. Lo contrario sucede con el nitrato, en donde las plantas toleran niveles altos y lo pueden acumular en sus tejidos. Sin embargo, se ha encontrado que el crecimiento de las plantas aumenta cuando se les suple una combinación de nitrato y amonio (Kass 2007).

En cuanto a la incidencia y severidad de enfermedades en plantas se ha visto que hay posible relación por la fuente de nitrógeno. Algunas enfermedades son más severas cuando el amonio predomina en la zona de raíces, así como hay otras que se ven favorecidas cuando hay predominancia de nitratos (Kass 2007).

2.12 Nitrógeno en el cultivo de papa

Beukema y van der Zaag (1990) mencionan que cuando se aplican altas cantidades de nitrógeno se alcanza la máxima producción de tubérculos en fechas posteriores a cultivos que fueron aplicados con dosis más bajas. Expresan que el nitrógeno estimula el crecimiento de los tallos, y aunque el inicio de la tuberización puede presentarse más temprano con altos y bajos niveles de nitrógeno, existe menor disponibilidad de materia seca para los tubérculos durante el primer periodo de su crecimiento. Las dosis altas de nitrógeno pueden conducir a un desarrollo de tallos más abundantes, retraso en el inicio del tubérculo, los rendimientos descienden, y se pueden dar cosechas de tubérculos que aún no han madurado lo suficiente y pueden afectar la calidad del tubérculo.

Cambouris *et al.* (2016) investigaron el impacto de la fuente de nitrógeno (N) y la tasa en defectos externos e internos de tubérculos de papa durante cinco temporadas de crecimiento, 2008 al 2012, bajo condiciones de riego en suelos arenosos en Quebec, Canada. Los tratamientos que utilizaron fue un control sin fertilizar, y tres fuentes de nitrógeno: nitrato de amonio (NA), sulfato de amonio (SA) y úrea con una cubierta de polímero (PCU) fueron aplicadas en cuatro dosis: 60, 120, 200, y 280 Kg N por ha. El PCU fue aplicado el 100% en la siembra y el NA y SA se aplicaron en un 40% en la siembra y el 60% restante en la aporca. En los tratamientos con dosis altas de N la presencia de tubérculos deformes fue alta, sin embargo, la incidencia de tubérculos enfermos causado por *Rhizoctonia* fue baja. Por otro lado, la sarna común y mancha marrón fueron más prevalecientes en las dosis más altas de N. Los rendimientos de tubérculos deformes y la presencia de corazón vacío fueron mayor para NA y PCU que SA. Adicionalmente, la mancha marrón tendió a ser más prevaleciente cuando PCU fue usado. Los resultados del estudio sugirieron que mientras PCU puede dar rendimientos similares que NA y SA, podría haber grandes tendencias de incremento de la sarna común cuando PCU es aplicado. El estudio mostró que las dosis de nitrógeno y su fuente son factores importantes que pueden influenciar en la presencia de desórdenes fisiológicos externos e internos en tubérculos de papa

2.13 Estudios de nutrición en el cultivo de papa en Costa Rica

El cultivo de papa responde a los elementos de nitrógeno, fósforo y potasio; sin embargo, se demostró en estudios realizados en pacayas que hay mayor extracción del calcio que de fosforo en la variedad Floresta. Investigaciones en cuanto a fertilización foliar mencionan que son más incipientes, lo cual hace que el agricultor gaste dinero de más (Avilés y Piedra 2017).

Bertsch (2009) indica la cantidad de nutrientes que requiere la variedad Floresta, a continuación, se detalla en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Cantidad de nutrientes requeridos para la variedad Floresta.

	Kg/ha					g/ha			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Absorción total	267	16	222	29	25	2192	78	133	656
Absorción en cosecha	128	11	116	6	6	442	26	51	60

Fuente. Bertsch (2009)

En el año 2016 se realizó un estudio en donde se evaluaron cuatro niveles de fertilización para la variedad Durán en un suelo volcánico en Pacayas de Alvarado utilizando fórmulas comerciales granuladas en la siembra y aporca en Pacayas de Alvarado. Se utilizaron las fórmulas 12-24-12-5MgO-6S y 15-3-20-6MgO-6S. El tratamiento 1 (T1) fue de 220 N – 260 P₂O₅ – 260 K₂O – 90 MgO – 100 S. El tratamiento 2 fue la aplicación de un 75% del T1, el tratamiento tres de un 50% del T1 y el tratamiento cuarto la aplicación de un 25% del T1. En los resultados que obtuvieron en cuanto a rendimiento se logró encontrar diferencias significativas entre tratamientos, generándose dos grupos. El primer grupo lo conformó los tratamientos T1, T2 y T3, cuyos rendimientos respectivos fueron de 36,1; 33,7; y 33,0 t/ha, mientras que el segundo grupo correspondió al tratamiento T4 con 23,0 t/ha. Se logró concluir que el tratamiento T3 sería el indicado para la época de verano (INTA 2016).

2.14 Corazón vacío

El término de corazón vacío se utiliza para describir una cavidad en el centro del tubérculo de la papa. La cavidad puede tener forma de lente o estrellada, pero en algunos cultivares puede ser más larga y con forma irregular. Las cavidades pueden ser individuales o puede ser un conjunto de pequeñas cavidades. En algunos cultivares luego de presentarse el corazón vacío las áreas expuestas en la cavidad se tornan de color café (Hiller *et al.* 1985 y Voyle 2016).

El corazón vacío usualmente se encuentra en los tubérculos más grandes de cultivares particulares, pero, también puede presentarse en tubérculos pequeños

especialmente durante periodos de rápido crecimiento. Las variaciones en la susceptibilidad de cultivares a corazón vacío no parecen estar asociadas con la tasa de crecimiento de la planta ni con la tasa de crecimiento de tubérculos individuales (Hiller *et al.* 1985).

De acuerdo con la revisión realizada por Hiller *et al.* (1985) han sido varios los trabajos de investigación que han podido relacionar diferentes factores causales de corazón vacío. Algunos de ellos han sido el clima, temperatura, humedad, prácticas culturales, la edad y calidad de tubérculos semilla, riego, fertilización, espacio entre plantas, poda de raíces, tratamientos químicos, días o época de siembra, y crecimiento de la planta.

Existen dos teorías generales que tratan de explicar la enfermedad fisiológica de corazón vacío. La primera teoría se basa en los trabajos realizados por Dinkel (1960) y Crumbly *et al.* (1973), ambos citados por Hiller *et al.* (1985) en donde se sugiere que este defecto fisiológico puede ser iniciado cuando las plantas de papa son sometidas a periodos de estrés después del inicio de la tuberización. De acuerdo con Dinkel (1960) los periodos de estrés causan que las plantas vuelvan a reabsorber agua, minerales, y carbohidratos de tubérculos jóvenes causando posibles heridas en células del tubérculo, por ende, estas células al tener algún tipo de daño van a ser incapaces de tener un crecimiento normal. En el caso del trabajo de Crumbly *et al.* (1973) se basa en que el corazón vacío se presente bajo una o dos de las siguientes condiciones: 1) Bajo condiciones de estrés de humedad las células de tubérculos hacen una conversión de almidón a azúcares, seguido de un flujo rápido de agua dentro del tubérculo causando una rápida ampliación de la zona perimedular y separación de las células en el área de la médula desarrollando de esta forma el corazón vacío. 2) Los daños presentes en células de tubérculos bajo algún tipo de estrés son causados por la reabsorción de algunos minerales y carbohidratos o el agotamiento de las reservas alimentarias por la planta, seguido por un periodo de aumento rápido del tubérculo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El trabajo se ejecutó en el distrito Tapezco, Zarcero, Alajuela, Costa Rica. Se realizó en una sección de la finca hortícola La Esperanza (10.216926, -84.387102), propiedad del señor Denis Delgado Gómez, a una altura de 1960 msnm (Fig. 7). La zona se caracteriza por tener una precipitación anual promedio de 3768 mm, temperaturas entre 24 y 17 °C, con una temperatura promedio de 20 °C (Soto y Villalobos s.f.)

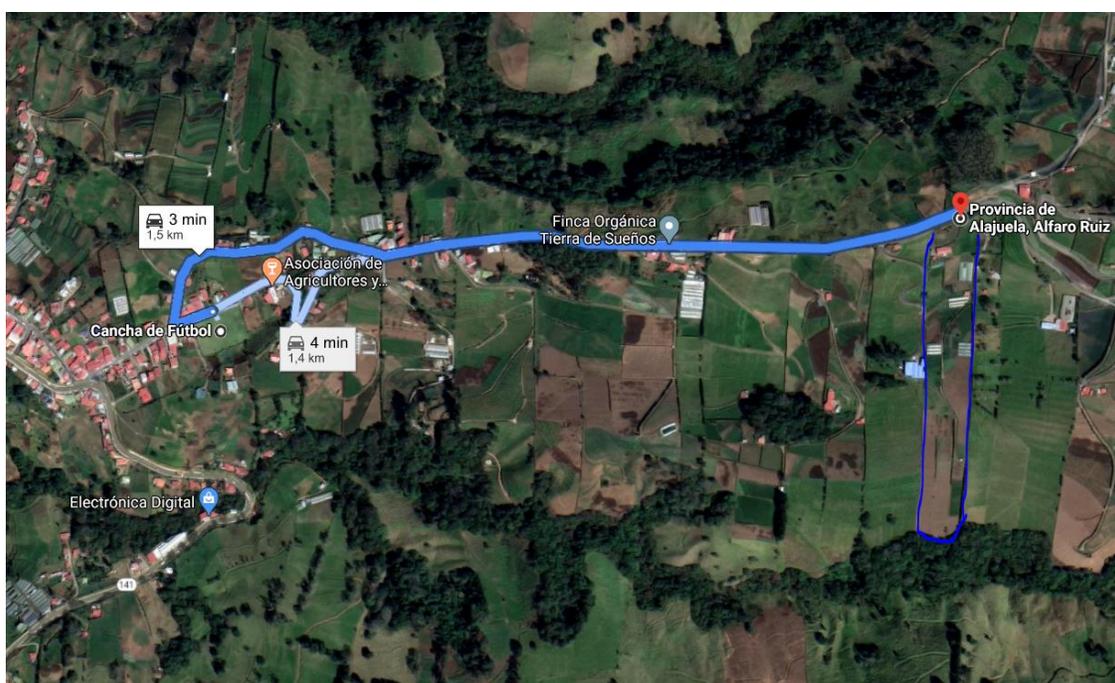


Figura 7. Ubicación de Finca La Esperanza, lugar donde se estableció el ensayo. 1,5 km este de la Cancha de Fútbol del distrito de Tapezco, Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 2019.

Fuente: Imagen tomada de Google maps.

La finca tiene 25 años de dedicarse a la producción de hortalizas. Sin embargo, aproximadamente cinco años atrás inició con el cultivo de papa, utilizando las variedades Floresta, Granola y Única. El suelo se caracteriza por ser profundo, con buen drenaje, de alta fertilidad, de una textura franco-arenosa y franco-limosa, características ideales para el establecimiento del cultivo de papa.

A inicios del mes de marzo 2019 se realizó el análisis químico de suelo del área donde se estableció el ensayo (Anexo 1). El análisis mostró que, para los parámetros de pH, acidez, porcentaje de saturación acidez, CICE, contenido de Ca, Mg, K, Zn, Fe, y Cu se encontraron dentro de los rangos óptimos. Lo que resaltó fue el contenido de P y Mn, 38 y 3.5 mg/L respectivamente. El primero correspondió a un contenido alto que está sobre el rango medio (10-20 mg/L), y el segundo valor estuvo por debajo del nivel crítico (<5 mg/L).

3.2 Periodo de estudio

El trabajo de campo comprendió en los meses de mayo a setiembre del 2019. La siembra se realizó el 16 de mayo y los tubérculos se cosecharon el 09 de setiembre, teniendo un ciclo de cultivo de 115 días.

3.3 Material experimental

Se utilizó semilla de alta calidad aportada por el INTA, proveniente de la Estación Experimental Carlos Durán, ubicada en Potrero Cerrado, cantón de Oreamuno, Cartago, Costa Rica. Dicha estación cuenta con laboratorio e invernaderos para la producción de semilla pre-básica de óptima calidad. En el ensayo se evaluaron tres cultivares de papa que producen tubérculos con cáscara y pulpa de color amarillo. Se utilizaron dos cultivares promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, los que se compararon con la variedad comercial Granola. Los tres materiales experimentales que se utilizaron tenían la misma edad, siendo esta la segunda siembra que se le realizaba a los tubérculos.

3.4 Descripción de los tratamientos

Los tres cultivares de papa se sometieron a cuatro niveles crecientes de fertilización nitrogenada obteniendo un total de doce tratamientos en cada bloque. Las dosis de nitrógeno aplicada y cada uno de los tratamientos se especifican en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Descripción de tratamientos utilizados durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Tratamiento	Cultivar	Dosis	Kg N/ha
1	CIP396009,240	D1	80
2		D2	120
3		D3	160
4		D4	200
5	CIP398017,53	D1	80
6		D2	120
7		D3	160
8		D4	200
9	Granola	D1	80
10		D2	120
11		D3	160
12		D4	200

Para la aplicación del fertilizante granulado se diseñó cuatro fórmulas de siembra y cuatro de aporca. En todos los tratamientos se hizo un aporte de 225 Kg/ha de P_2O_5 , 150 kg/ha de K_2O y 50 Kg/ha de MgO, lo que los diferenció uno de otro fueron las cuatro dosis crecientes de nitrógeno: 80 Kg/ha, 120 Kg/ha, 160 Kg/ha y 200 Kg/ha. Para el diseño de las fórmulas químicas se utilizó las materias primas de fosfato monoamónico (MAP), K-Mag, cloruro de potasio (KCl), y urea.

El fertilizante se aplicó el día de siembra y 30 días después en labor de aporca. Las fórmulas se diseñaron de manera que en la siembra se aplicara 40% del nitrógeno, 65% del P_2O_5 , 30% de K_2O y el 50% de MgO. Durante la labor de aporca se aplicó el resto de cada nutrimento: 60% del nitrógeno, 35% del P_2O_5 , 70% de K_2O y 50% de MgO. En el Cuadro 6 se aprecian las fórmulas que fueron utilizadas en el ensayo.

Cuadro 6. Fórmulas químicas de abono granulado utilizadas en labores de siembra y aporca por tratamientos durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Tratamiento	Siembra	Aporca
1, 5, 9	7-33-10-5-0-7(S)	10-17-22-5-0-6(S)
2, 6, 10	10-31-9-5-0-6(S)	13-15-19-5-0-6(S)
3, 7, 11	12-29-9-5-0-6(S)	16-14-18-4-0-5(S)
4, 8, 12	14-27-8-4-0-5(S)	19-13-16-4-0-5(S)

A toda el área experimental se le realizó fertilización foliar semanal, para complementar las necesidades nutricionales del cultivo, simulando el manejo agronómico usual que realizan los agricultores de la zona. Adicionalmente, se realizó aplicaciones fitosanitarias para proteger el cultivo contra plagas y enfermedades. El programa de fertilizaciones foliares y manejo fitosanitario se encuentra detallado en el Anexo 2.

3.5 Diseño, área y unidad experimental

El área experimental total fue 864 m², en la que se estableció un diseño de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas divididas, debido a las diferencias del uso de la tierra, topografía y dimensiones del lote asignado por el propietario (Figura 8). Se estableció cuatro bloques, los cuales se dividieron en tres parcelas principales que se aleatorizaron por cultivar. Las parcelas principales se dividieron en cuatro subparcelas, sobre las que se estableció aleatoriamente el nivel de fertilización nitrogenada.

Cada bloque fue de 216 m², divididos en tres parcelas principales de 6 m por 12 m. Luego cada parcela se dividió en cuatro subparcelas con dimensiones de 3 m de largo y 6 m de ancho para obtener 18 m² de unidad experimental, dando como resultado doce subparcelas en cada bloque. Cada subparcela se diseñó con siete

hileras de plantas a una distancia de 0,8 m entre ellas y una distancia entre plantas de 0,3 m, obteniendo una densidad de 41.625 plantas/ha. El área útil de cada unidad experimental se constituyó con las seis plantas centrales de las cuatro hileras centrales de cada subparcela (24 plantas por unidad experimental).



Figura 8. Localización de los cuatro bloques utilizados durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Fuente. Imagen generada con la aplicación para Android “Fields Area Measure Free”.

En la Figura 9 se muestra un diagrama con el diseño de la parcela principal (cultivar) y subparcelas (nivel de nitrógeno) utilizados en el ensayo, donde el número “1” hace referencia a las plantas consideradas “borde” y los círculos amarillos representan las plantas consideradas “área útil” y que fueron utilizadas para la medición de las variables de respuesta.

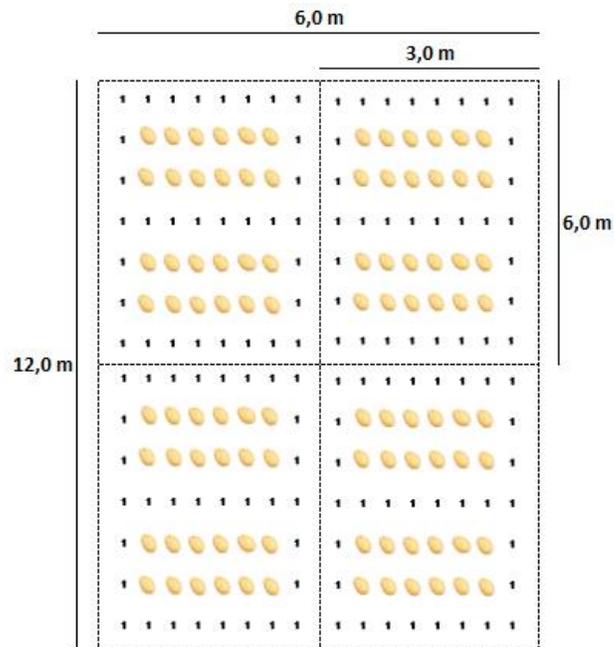


Figura 9. Diagrama con distribución y dimensiones de parcela principal (cultivar) y subparcela (nivel de nitrógeno) utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

El modelo estadístico que se utilizó se detalla a continuación:

$$y_{ijk} = \mu + B_i + C_j + \varepsilon_i + D_k + C_j \times D_k + \varepsilon_{ijk}$$

En donde:

y = variable respuesta de interés

μ = promedio general de la población

B_i = efecto del i -ésimo bloque

C_j = efecto del j -ésimo cultivar

ε_i = variación debido a cultivares

D_k = efecto de la k -ésima dosis a utilizar

$C_j \times D_k$ = efecto de la interacción de cultivar con dosis

ε_{ijk} = variación de efectos no controlados (error experimental)

Para este diseño, al error asociado al cultivar le correspondió seis grados de libertad y el error debido a las dosis fue de 27 grados de libertad.

3.6 Análisis estadístico

Se utilizó la técnica de Modelos Lineales Generales y Mixtos (MLMix) para determinar posibles diferencias entre tratamientos. A los resultados obtenidos no fue necesario realizar corrección para ajustes de heterocedasticidad. Además, se utilizó la prueba de Comparación Múltiple LSD Fisher, con un nivel de significancia de 0,05. Todos los análisis se realizaron usando el programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2017).

3.7 Variables respuesta estudiadas

Una vez que el cultivo alcanzó la madurez suficiente, 104 días después de la siembra (dds), se realizó la labor de chapea (Figura 10), la que consistió en eliminar el follaje de la planta dejando solamente la parte basal de los tallos, con el objetivo de favorecer la suberización de la cáscara de los tubérculos y evitar el desprendimiento de esta en la labor de cosecha, la cual se realizó a los 115 dds.



Figura 10. Eliminación de follaje de las plantas de papa para estimular la suberización de la cáscara del tubérculo (labor de chapea realizada a los 104 dds) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

En una bitácora se contabilizó el número de plantas que se cosecharon y todos los tubérculos obtenidos se recolectaron en sacos donde se identificó el número de bloque y tratamiento (Figura 11). Posteriormente, se procedió a realizar la evaluación de variables productivas, de calidad, de sanidad, y de costo-beneficio marginal.



Figura 11. Cosecha, recolección e identificación de tubérculos de plantas muestreadas por tratamiento durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

3.8 Variables productivas

3.8.1 Rendimiento de producción general

Consistió en tomar el peso de todos los tubérculos cosechados de las plantas muestreadas en el área útil de cada subparcela. Para la medición se utilizó una balanza digital marca OCONY-SS. El dato obtenido se extrapoló a las unidades de t/ha utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total de tubérculos (Kg)}}{\text{Área útil de tratamiento(m}^2\text{)}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ Kg}} \times \frac{10.000\text{m}^2}{1 \text{ ha}} = \text{t/ha}$$

3.8.2 Rendimiento según categoría de tubérculo

Se establecieron cuatro categorías de tubérculos según el peso individual. La categoría I y II, correspondió a la clasificación que normalmente hace el mercado nacional y que es mejor remunerado económicamente al agricultor. La categoría III, correspondió a tubérculos pequeños y la categoría IV fueron los tubérculos más grandes y que tienen un precio un poco menor al de los tubérculos comerciales. Las cuatro categorías se especifican en el Cuadro 7 y en la Figura 12, se aprecia la clasificación de uno de los tratamientos.

Cuadro 7. Categorías para la clasificación comercial de tubérculos utilizada durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Categoría	Peso de tubérculos (g)
I	De 200 a 299 g
II	De 100 a 199 g
III	Menores de 100 g
IV	Mayor o igual a 300 g



Figura 12. Metodología realizada para la clasificación de tubérculos de plantas muestreadas por tratamiento durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la

variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Para cada una de las categorías se calculó el valor porcentual que se obtuvo en la cosecha, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ por categoría} = \frac{\text{Cantidad por categoría (kg)}}{\text{Cantidad total por unidad experimental (kg)}} \times 100$$

3.9 Variables de calidad

Se evaluó el porcentaje de materia seca, presencia de Corazón Vacío y el porcentaje de infección de dos enfermedades en tubérculo. La primera se utiliza como parámetro de calidad del tubérculo para uso en agroindustria. La segunda es un síntoma fisiológico por causa de varios factores abióticos que suceden durante el ciclo del cultivo. Por último, se midió la incidencia y severidad de la enfermedad conocida como “roña” causada por los agentes de *Spongospora* sp. y *Streptomyces* sp., además de síntomas causados por *Rhizoctonia* sp.

3.9.1 Porcentaje de materia seca

La evaluación se realizó dos días después de la cosecha en la Estación Experimental Carlos Durán, ubicada en Potrero Cerrado de Oreamuno, Cartago. Se utilizó un método físico en donde se usó un hidrómetro especial para tubérculos de papa. Se utilizaron tubérculos al azar hasta obtener un peso de 3,66 Kg (8 lb.) y se introdujeron en un canasto unido a un hidrómetro para luego ser introducidos en un recipiente con agua y anotar el resultado. El hidrómetro tiene dos escalas: una que estima la densidad aparente y la otra, el equivalente al porcentaje de materia seca de los tubérculos (Figura 13).

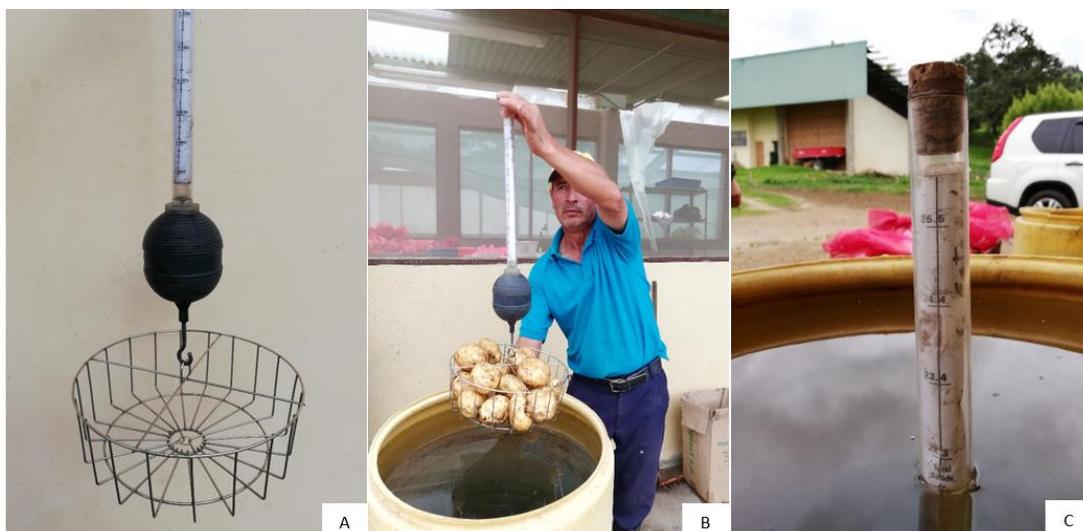


Figura 13. Proceso de medición de porcentaje de materia seca, con hidrómetro especial para tubérculos de papa (A: Hidrómetro y canasta para medición; B: muestra preparada para la medición; C: ejemplo de medición de porcentaje de materia seca), durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Estación Experimental Carlos Durán (INTA), Potrero Cerrado, Oreamuno, Cartago, 2019.

3.9.2 Presencia de corazón vacío

La presencia de corazón vacío se realizó un día después de la cosecha de los tubérculos de papa en finca La Esperanza. La presencia de esta característica es predominante en tubérculos de categoría IV, por lo que esta variable se midió en cinco tubérculos tomados al azar de los que se incluyeron en dicha categoría (tubérculos con peso mayor o igual a 300 g). A cada tubérculo se le realizó un corte transversal y se anotó la presencia o ausencia de síntomas de corazón vacío (Figura 14). Posteriormente, los datos se transformaron a porcentaje de incidencia.

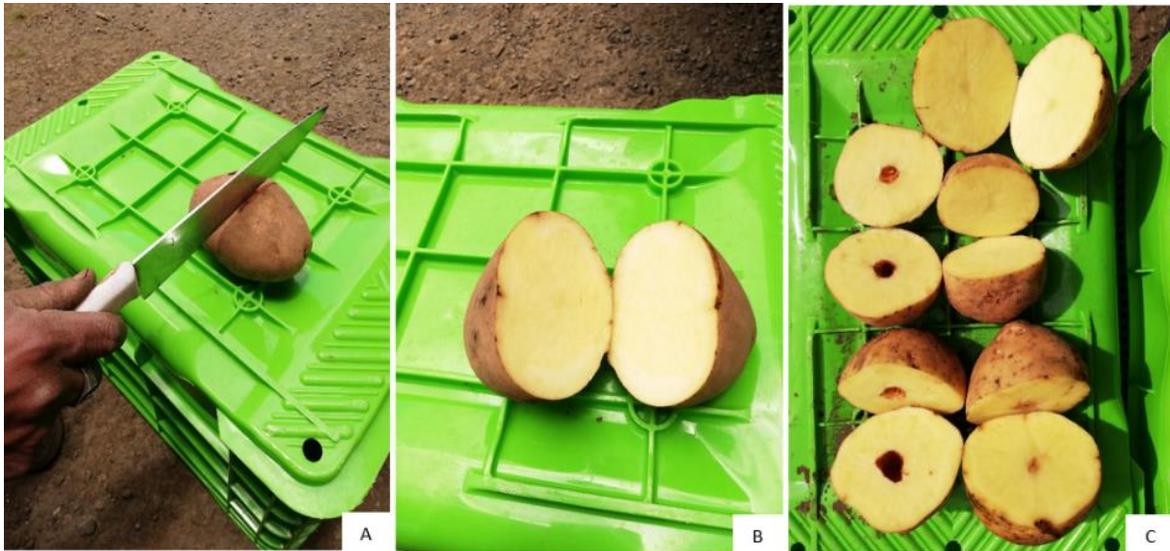


Figura 14. Metodología utilizada para la medición de incidencia de Corazón Vacío en tubérculos de categoría IV (A: Corte transversal a tubérculo de papa; B: tubérculo sano sin síntomas de Corazón Vacío; C: ejemplo de evaluación de porcentaje de incidencia de Corazón Vacío) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

3.9.3 Variables de sanidad

El mismo día de la cosecha se midió en campo la incidencia y severidad de las enfermedades causadas por los patógenos *Streptomyces* sp. y/o *Spongospora* sp., y *Rhizoctonia* sp. En esta evaluación se consideró que los primeros dos agentes causan la enfermedad con el nombre común de “roña”, debido a que la sintomatología que ambos generan es muy similar. El síntoma es un resquebrajamiento angular en la epidermis y la presencia de pústulas de coloración café (Figura 15). En el caso de *Rhizoctonia* sp, la sintomatología ocasionada en el tubérculo es la presencia de chancros negros (Figura 16).



Figura 15. Presencia de la enfermedad roña en tubérculos de papa, síntomas ocasionados por *Spongospora* sp. y/o *Streptomyces* sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.



Figura 16. Presencia de canchros negros en tubérculo de papa, síntoma ocasionado por *Rhizoctonia* sp durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Para determinar la incidencia y severidad de ambas enfermedades se utilizaron 15 tubérculos al azar del área útil y se clasificaron utilizando una escala de cinco niveles basada en la superficie cubierta por los síntomas observados (Cuadro 8 y Figura 17.).

Cuadro 8. Escala de severidad utilizada para determinar superficie cubierta por los síntomas causados por los patógenos *Streptomyces* sp., *Spongospora* sp., y *Rhizoctonia* sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Escala	Superficie cubierta con síntomas en el tubérculo (%)
1	0-5
2	6-15
3	16-25
4	26-50
5	51-100



Figura 17. Representación visual de escala utilizada para categorizar los síntomas de roña y de *Rhizoctonia* sp., durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Los datos obtenidos en la evaluación de los 15 tubérculos se utilizaron en la fórmula propuesta por Townsend y Heuberger (1943) para obtener el porcentaje de infección por tratamiento. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$P = \sum \left(\frac{nv}{VN} \right) \times 100$$

Donde:

P: es el porcentaje de infección

n: número de tubérculos por categoría

v: valor numérico de la categoría

V: Grado de infección más alto

N: Número de tubérculos por muestra

3.10 Variables económicas

3.10.1 Cálculo de beneficio marginal

Se realizó el cálculo de beneficio marginal sobre el costo de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno para cada uno de los cultivares en estudio utilizando la siguiente fórmula:

$$\textit{Beneficio Marginal} = \textit{Ingreso Marginal} - \textit{Gasto Marginal}$$

3.10.2 Ingreso marginal

El Ingreso Marginal se define como el ingreso por cada unidad adicional de producto que se venda. Considerando que el ingreso total está compuesto por el ingreso generado por cada categoría de producto vendido, se hizo necesario calcular el ingreso total de cada tratamiento, para luego calcular el ingreso marginal. Con el objetivo de tener mayor exactitud en los ingresos, se utilizaron los datos de rendimientos promedios de producción de las cuatro categorías de tubérculos y se multiplicaron por el precio comercial (Anexo 3). De acuerdo con Caravaca (2019), el precio promedio de la papa para el año 2019 a nivel de finca fue de 510 colones el kilogramo, por lo que para las categorías de tubérculo I y II se tomó dicho valor, para la categoría III un 30% menos (357 colones/Kg) y para la categoría IV un 20%

menos (408 colones/Kg). Se obtuvo el ingreso total y se extrapoló a colones por hectárea.

$$\text{Ingreso total} = (\text{Kg Cat. 1} + \text{Kg Cat. 2})(\text{¢}510) + (\text{Kg Cat. 3})(\text{¢}357) + (\text{Kg Cat. 4})(\text{¢}408)$$

Una vez determinados los ingresos totales para cada cultivar y tratamiento, se tomó como referencia la dosis de 120 Kg N por hectárea y se calculó el ingreso marginal de la siguiente forma:

$$IM_{120-80} = I_{120} - I_{80}$$

$$IM_{120-120} = I_{120} - I_{120}$$

$$IM_{120-160} = I_{120} - I_{160}$$

$$IM_{120-200} = I_{120} - I_{200}$$

Donde,

IM = Ingreso marginal

I = Ingreso

3.10.3 Gasto Marginal

El gasto marginal es el incremento en el gasto ocasionado por la producción de una unidad más de un determinado producto. En este caso, los gastos incrementales se asociaron únicamente a la variación en la dosis de N. Para determinar el gasto marginal se calculó los costos de las fórmulas químicas utilizadas durante las labores de siembra y aporca, además del costo final de todos los insumos utilizados en las fertilizaciones foliares. La variante de un tratamiento a otro fue el aumento de 40 Kg de nitrógeno por hectárea.

Al tener el costo de cada tratamiento se procedió a calcular los gastos marginales de la siguiente forma:

$$GM_{120-80} = G_{120} - G_{80}$$

$$GM_{120-120} = G_{120} - G_{120}$$

$$GM_{120-160} = G_{120} - G_{160}$$

$$GM_{120-80} = G_{120} - G_{200}$$

Donde,

GM = Gasto marginal

G = Gasto

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis exploratorio de datos

Se realizó un análisis exploratorio de la base de datos del ensayo mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de identificar posibles asociaciones entre los tratamientos y variables respuesta (Figura 18). Los resultados mostraron que, con solamente dos ejes, CP1 y CP2, se logró explicar el 88% de la variabilidad total en las observaciones.

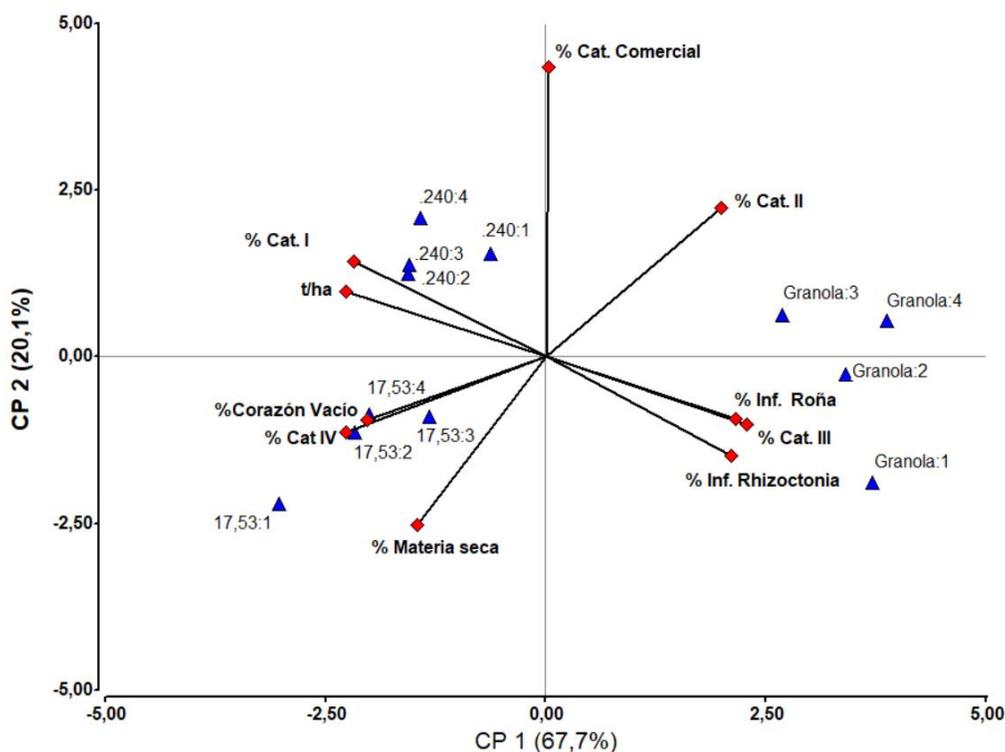


Figura 18. Diagrama de vectores con los componentes principales para las variables evaluadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

En la Figura 18 se puede observar e interpretar lo siguiente:

1. Los cultivares formaron notablemente tres grupos diferentes lo cual indica que hay posibles diferencias entre ellos.

2. Los vectores de las variables Corazón Vacío y tubérculos de categoría IV al tener un ángulo muy estrecho entre ellos (cercano a cero), indicaron que tienen una alta correlación.
3. Las variables Corazón vacío y tubérculos de categoría IV tuvieron una asociación cercana con el cultivar CIP398017,53.
4. El cultivar CIP398017,53 fue el que acumuló un mayor contenido de materia seca respecto a los otros dos cultivares.
5. Las variables rendimiento en t/ha y tubérculos de categoría I se asociaron con el cultivar ,240, lo cual permite inferir que dicho cultivar obtuvo los mejores rendimientos y que produjo un mayor número de tubérculos de dicha categoría.
6. La variedad comercial Granola presentó alta asociación con la incidencia de las dos enfermedades evaluadas, siendo esta menos resistente.
7. Existió una asociación de la variable tubérculos de categoría III con la variedad comercial Granola, especialmente con las dosis más bajas de N.
8. Los tratamientos aplicados a la variedad comercial Granola distaron más de la variable rendimiento t/ha, indicando que fue el cultivar con menor rendimiento.

4.2 Variables productivas

4.2.1 Rendimiento de producción general

En la Figura 19 se aprecia el efecto que tienen las dosis crecientes de nitrógeno (N) sobre el rendimiento en los dos materiales promisorios y en la variedad comercial Granola. En general, se observó una tendencia o comportamiento similar de las curvas lo cual explica que no se encontraron diferencias significativas en la interacción Cultivar-Dosis ($p > 0,05$). Esto sugirió que las dosis de N evaluadas en el estudio no cambiaron significativamente el comportamiento de los rendimientos obtenidos en dicha interacción. Sin

embargo, el análisis estadístico reportó diferencias significativas en los niveles de dosis y cultivar ($p < 0,05$) (Figuras 20 y 21).

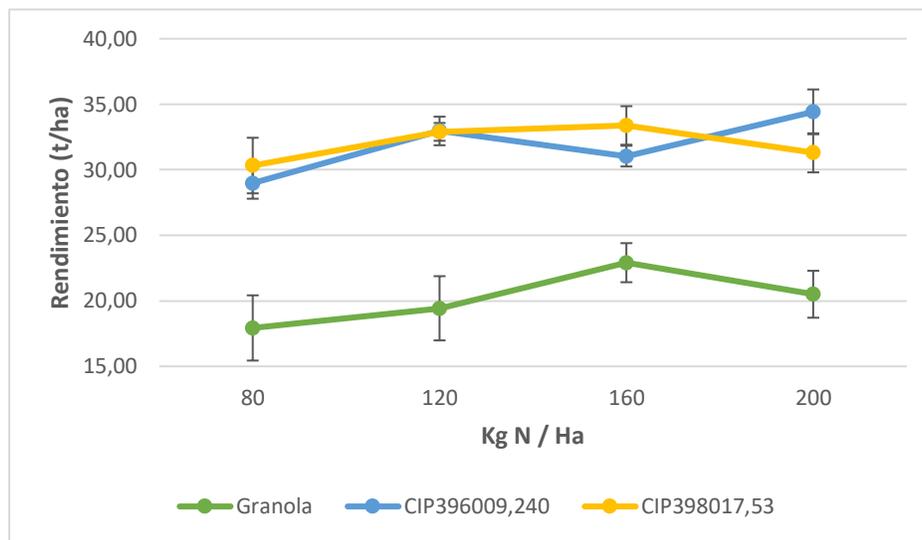
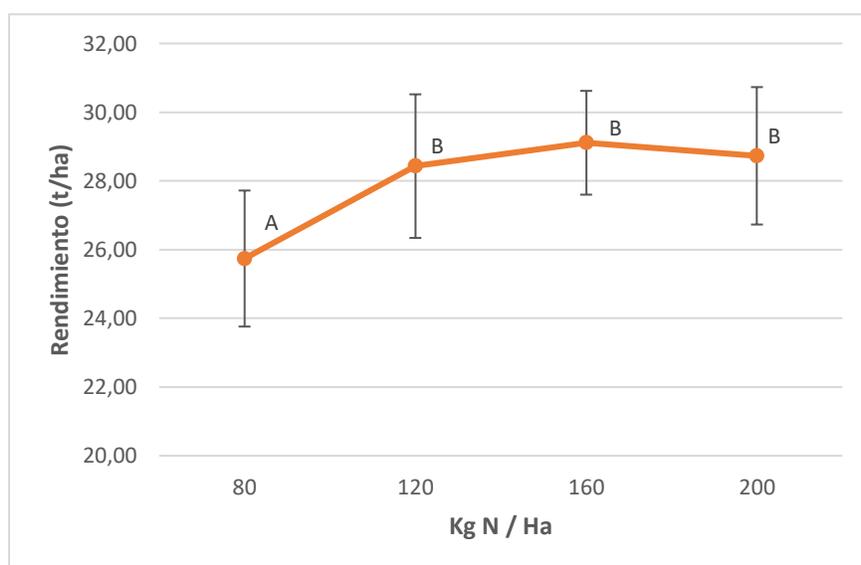


Figura 19. Efecto de niveles crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento de los cultivares promisorios CIP396009,240 y CIP398017,53 con respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Al utilizar dosis crecientes de N en el cultivo de papa se logró observar una respuesta positiva en los rendimientos con las primeras tres dosis seguido de una leve disminución con la dosis máxima utilizada (Figura 20). Se encontró que la dosis de 80 Kg N/ha fue significativamente menor ($p < 0,05$) respecto a las demás, con la cual se obtuvo el menor rendimiento de producción. De acuerdo con Ospina *et al.* (2016), el efecto del N en el cultivo depende de si se encuentra por debajo o sobre el nivel óptimo. Esto significa que cuando hay un aumento de la dosis de N debajo del valor óptimo el rendimiento incrementará, mientras que cuando se hacen aplicaciones sobre la dosis óptima, se pueden tener retrasos en la tuberización y maduración del cultivo afectando en este caso la calidad del tubérculo e incluso los rendimientos (Ospina *et al.* 2016).

Estudios realizados por Oyarzún *et al.* (2002) lograron encontrar que la dosis óptima fisiológica y la dosis óptima económica fue de 160 Kg N/ha y 140 Kg N/ha, respectivamente, al graficar los rendimientos de papa obtenidos en un periodo de diez años de diferentes zonas de Ecuador en función del precio del producto y del

costo del N. Por otro lado, en el noroeste de Europa el punto óptimo económico comúnmente se encuentra en el rango de 150 Kg/ha a 250 Kg/ha (Vos 2009). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la respuesta de las plantas al N depende de otros factores que también determinan el crecimiento. Factores como la disponibilidad de otros nutrientes esenciales, el tipo de suelo, agua disponible en el suelo, factores biológicos y ambientales, así como el manejo del cultivo, rotación de cultivos, tipos de fertilizantes utilizados, el tipo de cultivar, etc. son factores que determinan la disponibilidad y respuesta del N en la zona donde se esté trabajando (Ospina *et al.* 2016). Incluso, la respuesta de N puede variar importantemente de sitio a sitio y de año a año, y se debe tomar en cuenta también la capacidad que tiene el cultivo, o en este caso los cultivares, en hacer eficiente el uso del elemento (Khan 2012).



Medias con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 20. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento promedio de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240, CIP398017,53 y la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Vos (2009) en su artículo logra explicar claramente cuál es el papel que tiene el N específicamente en el crecimiento y desarrollo de la planta de papa. Menciona que el periodo de crecimiento del cultivo se divide en tres fases de acuerdo con la fracción de radiación interceptada, que prácticamente equivale a la fracción de suelo

cubierta por el follaje de la planta. La Fase I inicia desde el día de siembra hasta la cobertura del suelo y el punto máximo de intercepción de luz, la Fase II es el periodo de máxima intercepción de luz, y la Fase III, empieza cuando la intercepción de luz y cobertura de suelo empieza a disminuir hasta llegar a la maduración total del cultivo. El autor expresa que el rendimiento de la planta aumenta con una mayor tasa de aplicación de N hasta que se logra alcanzar un rendimiento máximo. Relacionado a lo anterior, un mayor rendimiento en respuesta a más N puede resultar de la siguiente forma: a) una mayor tasa de crecimiento del cultivo, b) una tasa de crecimiento promedio similar en un periodo extendido de crecimiento, o c) una combinación de a) y b).

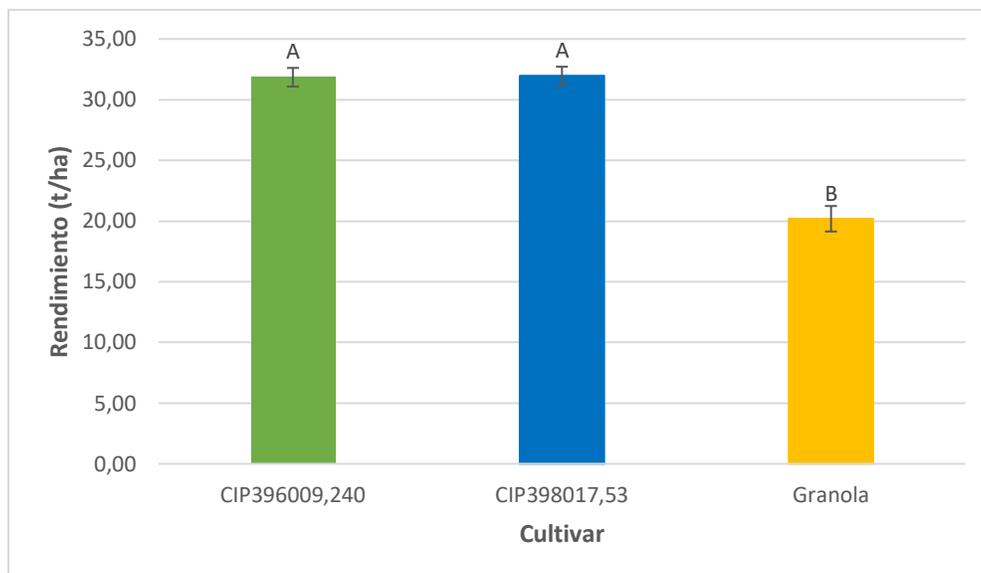
Una mayor tasa de crecimiento del cultivo sucede cuando la duración de las Fases I y III son más cortas y la duración de la Fase II se prolonga por más tiempo. En el caso del cultivo de la papa, la disponibilidad y suministro de N afecta significativamente la duración de la Fase II y si se alcanza o no la cobertura total del suelo. En el caso de la Fase I, el efecto del N es comparativamente pequeño, y en la etapa de senescencia se afecta marginalmente. Por último, el periodo de crecimiento total de la planta se prolonga para una mayor tasa de suministro de N porque la Fase II dura más con una mejor nutrición de N (Vos 2009).

Ahora bien, las respuestas a las dosis bajas o altas que tiene el N en las tres fases anteriormente descritas surgen del efecto que tiene el N sobre la tasa y duración de la aparición de hojas y ramas en la planta de papa y depende de la vida activa de las hojas individuales. Procesos como la tasa de aparición de hojas, el momento de la aparición de las ramas laterales apicales o basales y la duración de la expansión de la hoja no son sensibles a las aplicaciones de N en un amplio intervalo de suministro N. Sino que, para plantas espaciadas, la vida útil activa de las hojas tiende a ser más larga a altas tasas de suministro de N que a tasas menores. Las áreas de crecimiento completo de los rangos de hojas individuales son extremadamente sensibles a la aplicación de N porque la tasa de expansión de la hoja es sensible, pero la duración de la expansión de la hoja no lo es. Por ende, las aplicaciones de nitrógeno afectan el número de ramas laterales, el número de

hojas en estas ramas, el tamaño individual y la senescencia de cada hoja. (Biemond y Vos 1992; Khan *et al.* 2012).

Al encontrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) en el nivel de cultivares se puede deducir que cada cultivar tiene diferencias a la respuesta de N. Ospina *et al.* (2016) expresa que los cultivares tiene diferentes requisitos de nutrientes con diferentes valores óptimos en función de su absorción. Además, el componente genético de cada cultivar juega un papel importante en el tipo de madurez, rendimientos, el desarrollo de follaje en cuanto a cobertura de suelo y el tipo de senescencia (Khan *et al.* 2012; y Hurtado 2012 citado por Ospina *et al.* 2016). Algunos de estos factores no se midieron formalmente en el ensayo, sin embargo, los parámetros de cobertura de dosel, los periodos de crecimiento total de la planta, la cantidad y tamaño de tallos, ramas y hojas, fueron mucho mayores en los cultivares promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, respecto a la variedad comercial Granola, lo cuál podría explicar muy bien las diferencias de rendimientos obtenidos (Figuras 21 y 22). Incluso, los mismos parámetros se evidenciaron al comparar visualmente los tratamientos de Granola, donde al aumentar la dosis de N, la cantidad de follaje y vigor de la planta observado fue mayor y se logró evidenciar en la respuesta de la variable rendimiento obtenidos para esta variedad comercial (Figura 22C).

El rendimiento obtenido con los cultivares promisorios evaluados fue significativamente mayor respecto a la variedad comercial Granola (Figuras 21 y 22). Independientemente de la dosis, el rendimiento promedio obtenido fue mayor a los 30 t/ha (Figura 21). Estos resultados tienen gran similitud a lo obtenido por Mora (2019) ² en evaluaciones realizadas durante el 2018 en Palmira (38,88 Kg/ha con CIP398017,53 y 39,32 Kg/ha para CIP396009,240) y Pueblo Nuevo (36,92 Kg/ha de la CIP398017,53 y 28,68 Kg/ha para CIP396009,240) de Zarcero, ambas zonas mayores a los 2010 msnm.

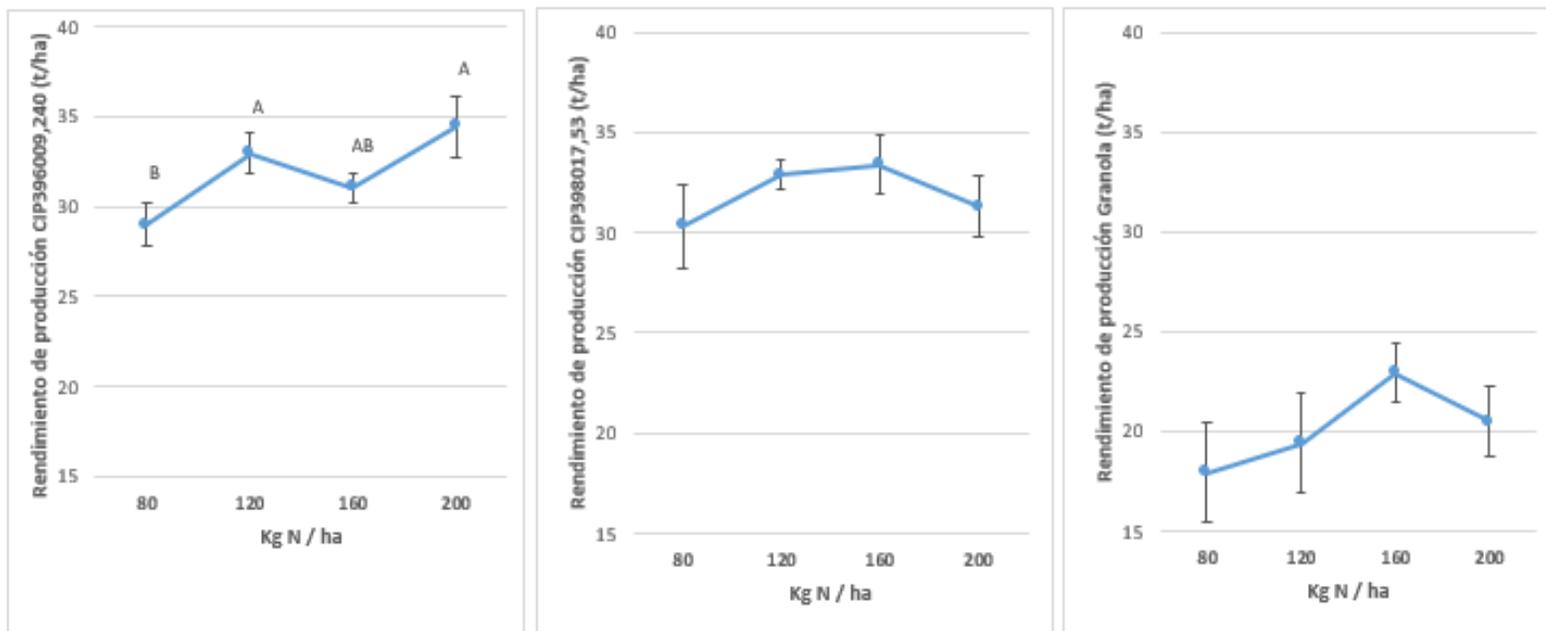


Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

Figura 21. Rendimientos promedio de los cultivares promisorios de papa CIP396009,240, CIP398017,53 y la variedad comercial Granola durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno. Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Este rendimiento obtenido con los cultivares promisorios tiene gran relevancia porque superó el rendimiento de producción nacional reportado por Mora y Quirós (2019), 20,5 t/ha. Además, supera el rendimiento promedio de los cantones de la provincia de Cartago y de Zarcero, zonas con mayor producción de papa en el país, cuyo rendimiento anda cerca de las 25 t/ha. Lo anterior cumple con dos de las características deseadas en un cultivar promisorio, en cuanto a una alta productividad y estabilidad en la producción (Vreugdenhil *et al.* 2011 y Mora 2019)

Al realizar un análisis específico para cada cultivar sobre el efecto de las dosis crecientes de N, se encontraron diferencias significativas únicamente en el cultivar CIP396009,240, obteniendo los mejores rendimientos con 120 Kg N/ha y 200 Kg de N/ha. En el caso de CIP398017,53 y Granola se aprecia como los dos cultivares tienen un aumento en el rendimiento con las primeras tres dosis, pero al superar esta, el rendimiento descendió, con lo cual se podría deducir que la dosis óptima para estos dos cultivares, bajo las condiciones biológicas y ambientales que se presentaron durante el establecimiento del ensayo, fue de alrededor de 160 Kg N/ha.



A

B

C

Medias en Figura 22A con letras iguales no tienen diferencias significativas ($p > 0,05$)

Figura 22. Rendimiento de papa obtenido durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 (A) y CIP398017,53 (B), con respecto a la variedad comercial Granola (C), Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

4.2.2 Rendimiento según categoría de tubérculo

En cuanto a las variables de clasificación de cuatro categorías de tubérculo se halló que las diferencias significativas se encuentran a nivel de cultivar ($p < 0,05$) y no en las dosis de nitrógeno ni en la interacción cultivar-dosis. Esto significa que la distribución de pesos de tubérculos en cada tratamiento no se vio afectada por las diferentes dosis de nitrógeno estudiadas, sino por las características propias o genéticas que cada cultivar posee.

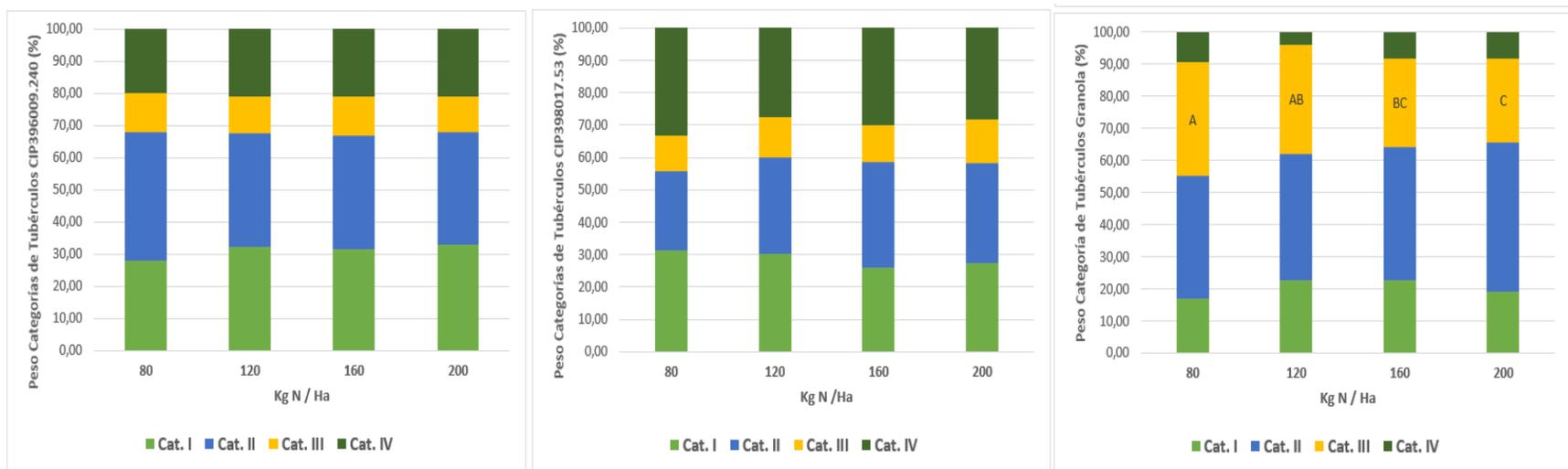
De acuerdo con la revisión de Khan *et al.* (2012), el proceso de formación de tubérculos en el cultivo de papa consiste en una secuencia compleja y dinámica de varios eventos regulados independientemente, en donde se incluye la inducción, iniciación, llenado y la maduración del tubérculo. Estos eventos son posibles cuando los pasos dependientes del medio ambiente ocurren de manera organizada. Por ejemplo, la detección del momento en que se da el crecimiento del estolón, el inicio del crecimiento radial o el almacenamiento de recursos. Estos eventos pueden presentarse de forma independiente uno del otro y están regulados por un gran conjunto de genes específicos que interactúan entre sí.

Adicionalmente, Khan *et al.* (2012) encuentran que una vez que inicia la etapa de aumento de volumen de los tubérculos, se tiene un gran impacto en el crecimiento y desarrollo de las siguientes fases fenológicas y en la fisiología del cultivo completo, porque los tubérculos en desarrollo representan el sumidero dominante de la planta. Esto significa que, en el momento de inicio en la formación de los tubérculos, se presenta una división preferencial en conducir los asimilados hacia los tubérculos repercutiendo en una reducción en la tasa de crecimiento, y en el peor escenario, una detención completa del crecimiento del follaje y las raíces. Sin embargo, este nivel de reducción descrito depende del tipo de madurez y de la fisiología específica del genotipo de cada cultivar. Además, los mismos autores hallan de estudios anteriores que el inicio temprano del crecimiento del tubérculo puede dar origen a plantas pequeñas con un follaje limitado, y en consecuencia, la obtención de bajos rendimientos de tubérculos, mientras que si el inicio del crecimiento de los tubérculos es tardío, conducirá a plantas con altos rendimientos.

En relación con la explicación anterior, la Figura 6 muestra la distribución porcentual obtenida de las cuatro categorías de tubérculos para cada cultivar en donde se aprecia las similitudes y diferencias en la distribución de pesos. En el caso de los cultivares promisorios, CIP396009,240 (Figura 23A) y CIP398017,53 (Figura 23B), se aprecia que la distribución de las categorías fue muy similar y constante en cada una de las dosis, y no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$).

En el cultivar CIP396009,240 se observa que casi el 70% de los tubérculos correspondió a la sumatoria de las categorías comerciales (I y II), cerca de un 10% son tubérculos menores a 100 g (categoría III), y un 20% corresponde a tubérculos de la categoría IV. En el caso del cultivar CIP398017,53, se observó la tendencia de producir tubérculos más grandes y de mayor peso, pues la categoría IV aumentó cerca de un 10% aproximadamente disminuyendo el porcentaje de la categoría II y mantuvo cerca del 10% con tubérculos de categoría III.

En la distribución de pesos de tubérculos con la variedad comercial Granola (Figura 23C), a diferencia de la CIP396009,240 y CIP398017,53, sobresale la tendencia de producir en un mayor porcentaje tubérculos de categoría III, única categoría donde se presentaron diferencias significativas. Se aprecia que el tratamiento con la dosis de 80 Kg de N fue significativamente diferente ($p < 0,05$) a los tratamientos de 160 y 200 Kg de N. Para las categorías I, II y IV no hubo diferencias significativas. Sin embargo, aunque el análisis estadístico no lo demuestra, se logró observar una leve respuesta positiva en el aumento de la categoría II cuando se aumentó la dosis de N.



Medias en Categoría III de Granola con letras iguales no tienen diferencias significativas ($p > 0,05$)

Figura 23. Distribución porcentual de pesos de tubérculos durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP396009,240 (A) y CIP398017,53 (B) respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

4.2.3 Variables de calidad

4.2.3.1 Contenido de materia seca

El contenido de materia seca (MS) en los tres cultivares tuvo una tendencia similar con el aumento de la dosis de nitrógeno (Figura 24). Al observar la figura se aprecia que cuando se aumenta la dosis de nitrógeno existe una leve disminución en el contenido de MS, sin embargo, este descenso no es significativo en la interacción cultivar dosis ($p>0,05$), sino que las diferencias se presentaron a nivel de cultivares (Figura 26).

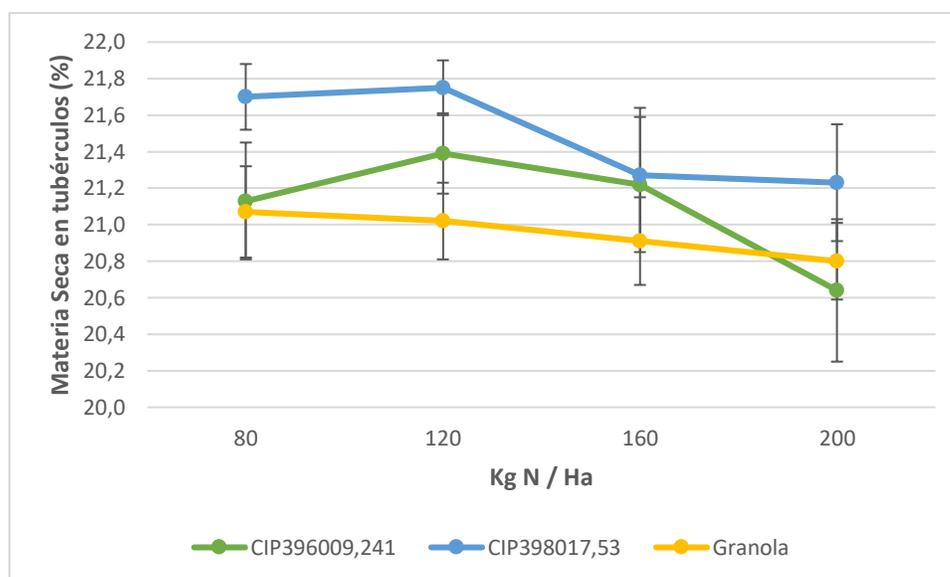


Figura 24. Acumulación de materia seca durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Las tasas de acumulación de MS en papa es una función de la intercepción y eficiencia en la utilización de la radiación fotosintéticamente activa. Las variaciones en los rangos de acumulación de MS pueden ser atribuidas en las diferencias de intercepción de esta radiación causadas por la variabilidad del índice de área foliar y la senescencia del follaje durante la etapa tuberización y la etapa de máxima cobertura del suelo característico de cada cultivar (Khan *et al.* 2012). En

este caso, el papel del N consiste en alcanzar rápidamente la máxima cobertura de dosel posible y extender el periodo de máxima intercepción de luz, en donde las temperaturas y nivel de radiación juegan el papel principal en la acumulación de materia seca.

La variedad comercial Granola desarrolló la menor cantidad de follaje y los cultivares promisorios desarrollaron más (Figura 25), relacionando esto con la explicación del párrafo anterior se puede deducir porqué los cultivares promisorios pudieron acumular mayor porcentaje de MS. En cuanto al comportamiento mostrado en la Figura 24, el descenso del porcentaje de MS que se aprecia en la misma figura podría atribuirse a lo que menciona Vann Heemst (1986) citado por Khan *et al.* (2012), quien expresa que un excesivo crecimiento vegetativo compensa en una redistribución de la materia seca de las partes vegetativas a los tubérculos.



Figura 25. Desarrollo de cobertura foliar (59 dds) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Al observar las Figuras 24 y 26, se aprecia que los dos cultivares promisorios presentaron potencial en la acumulación de materia seca, siendo en este caso el cultivar CIP398017,53 quién acumuló una mayor cantidad de sólidos.

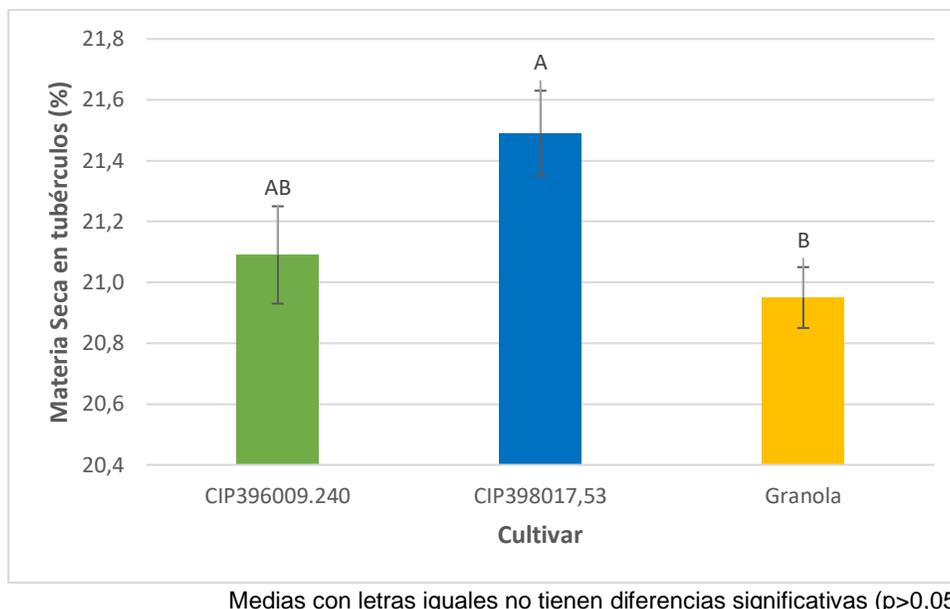


Figura 26. Acumulación de materia seca durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

De acuerdo con Bonierbale *et al.* (2010), en tubérculos de papa se considera aceptable un contenido de materia seca de más del 20% y una gravedad específica de 1.080 o mayor, lo que corresponde a un contenido de sólidos de aproximadamente del 18%. Cuando los tubérculos se ajustan a este criterio significa que son aptos para ser utilizados en agroindustria: Por ejemplo, en el procesamiento de hojuelas fritas se produce un buen rendimiento ya que absorben menos aceite y tienen mejor textura. En cambio, cuando se utilizan tubérculos con valores más bajos es indicio de una baja calidad para ser utilizados en cualquier procesamiento. En este caso, todos los cultivares evaluados tuvieron un porcentaje de materia seca mayor al 20% (Figuras 24 y 26) y cumplen con otra característica deseada en un cultivar promisorio: que los tubérculos se puedan utilizar tanto en la comercialización de producto fresco y en la agroindustria.

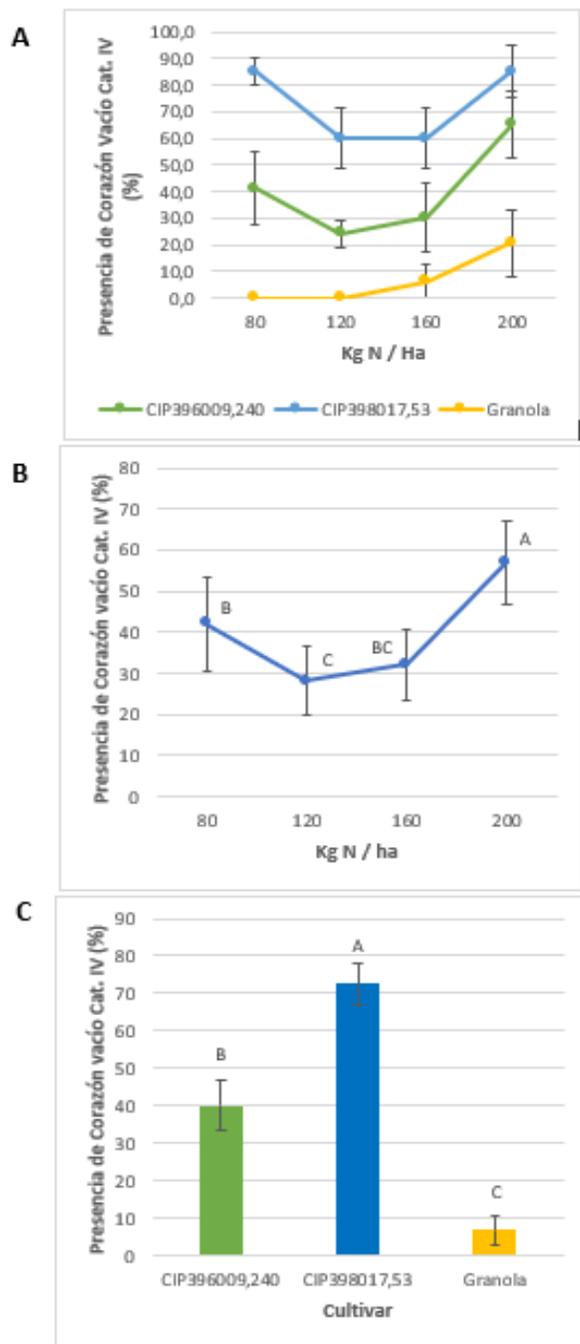
4.2.3.2 Presencia de Corazón Vacío

Se encontró que las dosis crecientes de nitrógeno presentaron una tendencia similar sobre la incidencia de corazón vacío (CV) en tubérculos de la categoría IV, lo que explica las diferencias no significativas en la interacción cultivar-dosis ($p > 0,05$) (Figura 27A). En este caso, para dicho trastorno fisiológico las diferencias se hallaron únicamente en las dosis utilizadas y entre cultivares.

Al observar la Figura 27B, se muestra como las dosis evaluadas incidieron en la presencia de CV. Se aprecia que, en las dosis extremas, 80 Kg N/ha y 200 Kg N/ha la incidencia fue mayor, sin embargo, en las dosis intermedias el porcentaje de aparición fue más bajo. Esto podría sugerir que el rango óptimo de aplicación de nitrógeno para disminuir la incidencia de CV se encuentra en el rango de los 120 Kg N/ha y 160 Kg/ha.

Considerando los cultivares (Figura 27C), se muestra que los tres materiales evaluados fueron significativamente diferentes entre sí ($p < 0,05$), siendo los dos cultivares promisorios los que tuvieron una mayor incidencia. Lo anterior se puede relacionar con los resultados mostrados en la Figura 23A-B, pues los cultivares CIP398017,53 y CIP396009,240, produjeron más de 20% de tubérculos con peso superior a 300 g. Esto concuerda con lo que expresa Hiller *et al.* (1985) y Aleva (2016), quienes mencionan que la enfermedad fisiológica de CV usualmente se encuentra en tubérculos grandes de cultivares particulares. En el caso específico de Granola, la incidencia fue más baja, siendo un cultivar con menor susceptibilidad a la enfermedad. Sin embargo, se aprecia que cuando aumentó la dosis de nitrógeno, apareció la enfermedad.

La fertilización ha sido uno de los múltiples factores causales de CV que se han estudiado. Trabajos realizados por Kallio (1960) citado por Hiller *et al.* (1985) encontraron que altas dosis de nitrógeno incrementa el CV, en tanto altas dosis de potasio la disminuyen y altas dosis de fósforo no afectan la aparición de CV.



Medias con letras iguales no tienen diferencias significativas ($p > 0,05$)

Figura 27. Incidencia de Corazón vacío en tubérculos de papa categoría IV (> 300 g) durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

En el caso del presente trabajo, la variable que se controló fue la dosis de N y en las Figuras 27A-B, se aprecia como a partir de 160 Kg N/ha la incidencia de CV tiende a incrementar más significativamente. Sin embargo, no se debe ver la dosis de N como un factor aislado, sino como resultado de la interacción con otros factores presentes en el ambiente, por ejemplo, la precipitación en la época del cultivo, humedad en el suelo durante el ciclo de producción y niveles de fertilización por etapa de crecimiento, que en este caso no se midió.

Sin embargo, en la revisión que hacen Hiller *et al.* (1985) encontraron que como regla general, las prácticas culturales que aseguren un buen establecimiento y desarrollo del cultivo, las semillas con múltiples brotes que den origen a plantas con varios tallos, la población establecida, seguido de niveles uniformes de humedad y de fertilidad, con el objetivo de promover un crecimiento uniforme en las plantas, ayudarán a disminuir la presencia de corazón vacío en el cultivo de papa.

4.2.4 Variables de sanidad

4.2.4.1 Porcentaje de infección de “roña” y *Rhizoctonia* sp.

Los cultivares de papa presentaron diferencias significativas en el daño ocasionado por los agentes causales de la roña y *Rhizoctonia* sp. ($p < 0,05$). En ambas enfermedades, la variedad comercial Granola presentó el mayor daño, mientras que los cultivares promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, evidenciaron una menor severidad y las diferencias fueron no significativas entre sí (Figuras 28 y 29). Las diferencias obtenidas entre los cultivares promisorios y el comercial fue cerca de 10%, lo que sugiere que los dos primeros tienen cierta tolerancia a estas dos enfermedades, aunque no se indican en el manual de clones avanzados por CIP (2018).

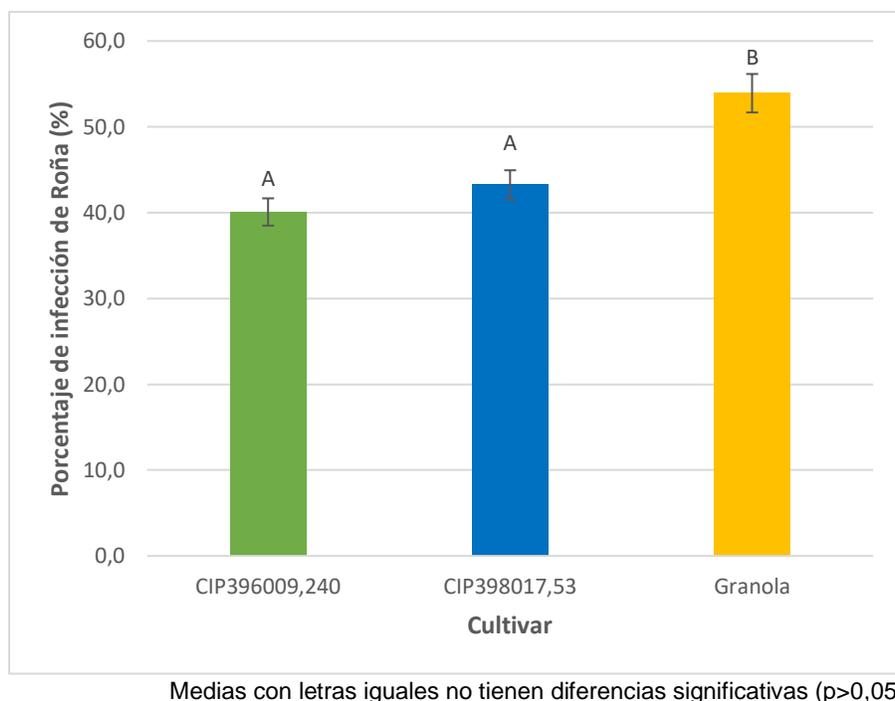


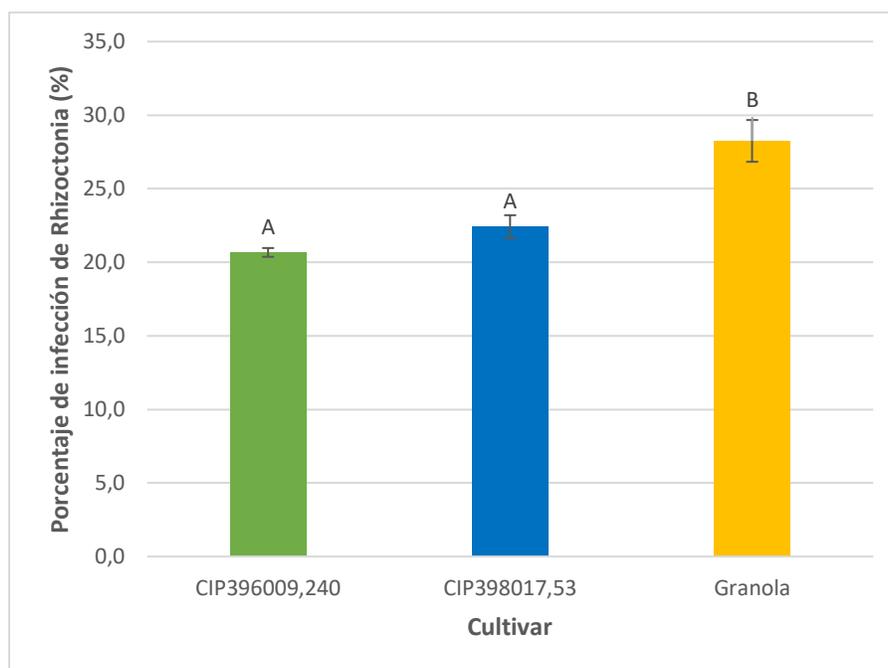
Figura 28. Índice de severidad de la enfermedad roña durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

No se observó diferencias significativas en la interacción cultivar-dosis y dosis de nitrógeno ($p > 0,05$). Con lo anterior, se podría afirmar que las dosis de nitrógeno no tuvieron efecto significativo sobre la severidad de los síntomas de roña y *Rhizoctonia* encontrados. Sin embargo, Falloon *et al.* (s.f.) y Shah *et al.* (2014) mencionan que a dosis crecientes de N existe una mayor incidencia y severidad en síntomas causados por *Spongospora subterranea* en tubérculos de papa, pero cuando se tiene rotación de cultivos y manejo adecuado de la humedad y de la fertilización, la incidencia y severidad de la enfermedad puede ser menor.

De acuerdo con Mora (2020)³ es frecuente encontrar estas dos enfermedades en los suelos paperos de Zarcero, principalmente por la cantidad de materia orgánica que se encuentra en estos tipos de suelos (Andisoles). Sin

³ Mora, J. 2020. Trabajos de investigación con cultivares promisorios de papa (exposición oral). San José, CR, INTA.

embargo, lo mostrado en las Figuras 28 y 29 resulta de un gran beneficio para los productores, ya que los cultivares promisorios mostraron una mayor tolerancia a las enfermedades mencionadas, cumpliéndose otra de las características deseadas en los cultivares promisorios: tolerancia a enfermedades.



Medias con letras iguales no tienen diferencias significativas ($p > 0,05$)

Figura 29. Índice de severidad de *Rhizoctonia* sp. durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

4.2.5 Variables económicas

4.2.5.1 Ingreso marginal

El Cuadro 9 muestra los ingresos marginales para cada dosis de cada cultivar de papa que fue evaluado. La dosis de 120 Kg/ha fue la que se utilizó como dosis comparativa respecto a las otras. Los resultados obtenidos se relacionan a los rendimientos obtenidos (Figura 22). Se aprecia que, en los tres cultivares a los que se aplicó la dosis mínima, no se logró obtener los ingresos suficientes respecto a la dosis de referencia. De acuerdo con los datos, para el cultivar CIP396009,240 se

obtiene un mejor ingreso con la dosis más alta, 200 Kg N/ha, pero para el cultivar CIP398017,53 y Granola resultó mejor utilizar la dosis de 160 Kg N/ha.

Cuadro 9. Cálculo de ingresos marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcerro, 2019.

Cultivar	Dosis (Kg N/ha)	Ingreso (₡)	Cálculo	Ingreso Marginal (₡)
CIP396009,240	80	13 660 872,40	I (120-80)	-1 853 442,71
	120	15 514 315,10	I (120-120)	-
	160	14 584 981,77	I (120-160)	- 929 333,33
	200	16 222 072,92	I (120-200)	707 757,81
CIP398017,53	80	13 943 143,23	I (120-80)	-1 287 927,08
	120	15 231 070,31	I (120-120)	-
	160	15 415 369,79	I (120-160)	184 299,48
	200	14 419 763,02	I (120-200)	- 811 307,29
Granola	80	7 997 481,77	I (120-80)	- 843 315,10
	120	8 840 796,88	I (120-120)	-
	160	10 525 036,46	I (120-160)	1 684 239,58
	200	9 472 098,96	I (120-200)	631 302,08

4.2.5.2 Gasto Marginal

El Cuadro 10 presenta resumidamente el costo de la fertilización granulada utilizada para cada tratamiento del presente estudio. Se aprecia que el aumento en 40 Kg N/ha significó invertir un poco más de 20 mil colones de más.

Cuadro 10. Cálculo de gastos marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Dosis (Kg N/ha)	Costo Fertilizante granulado (¢/ha)	Cálculo	Gasto Marginal (¢)
80	278 559,60	G (120-80)	-20 359,23
120	298 918,83	G (120-120)	-
160	320 884,28	G (120-160)	21 965,45
200	342 849,73	G (120-200)	43 930,90

4.2.5.3 Beneficio Marginal

El Cuadro 11, muestra los beneficios marginales que se obtuvieron al utilizar las dosis crecientes de N. En el caso de CIP396009,240 el mejor beneficio marginal se obtuvo con la dosis máxima, en donde invertir 43.930,90 colones se traduce en 663.826,91 colones extra.

En el caso de los cultivares CIP398017,53 y Granola, el mejor beneficio marginal se obtuvo con la dosis de 160 Kg N/ha. En donde invertir en 40 Kg más de nitrógeno, se traduce en 162.334,03 y 1.662.274,13 colones para el cultivar promisorio y Granola, respectivamente.

Cuadro 11. Cálculo de beneficios marginales de dosis utilizadas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa CIP396009,240 y CIP398017,53 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019.

Cultivar	Dosis (Kg N/ha)	Ingreso Marginal (₡)	Gasto Marginal (₡)	Beneficio Marginal (₡)
CIP396009,240	80	-1 853 442,71	- 20 359,23	-1 833 083,48
	120	-	-	-
	160	-929 333,33	21 965,45	-951 298,78
	200	707 757,81	43 930,90	663 826,91
CIP398017,53	80	-1 287 927,08	-20 359,23	-1 267 567,85
	120	-	-	-
	160	184 299,48	21 965,45	162 334,03
	200	-811 307,29	43 930,90	-855 238,19
Granola	80	-843 315,10	-20 359,23	-822 955,87
	120	-	-	-
	160	1 684 239,58	21 965,45	1 662 274,13
	200	631 302,08	43 930,90	587 371,18

5 CONCLUSIONES

1. La aplicación de dosis crecientes de N presentó una respuesta distinta en cada cultivar evaluado lo que conduce al diseño de manejos nutricionales específicos para cada cultivar promisorio.
2. Los cultivares promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, tuvieron un rendimiento significativamente superior a la variedad comercial Granola, logrando superar los rendimientos promedio nacionales. Esto representa una oportunidad para los productores de papa en mejorar los rendimientos e ingresos económicos, utilizando las mismas áreas que se usan hoy día.
3. Independientemente de la dosis de N utilizada, los cultivares promisorios tuvieron una distribución porcentual de pesos similares de las cuatro categorías de tubérculo establecidas.
4. El cultivar promisorio CIP398017,53 produjo más tubérculos categoría IV y con mayor incidencia de corazón vacío.
5. La variedad comercial Granola se caracterizó por producir más tubérculos con peso inferior a 100g, lo que incidió negativamente en el rendimiento por área.
6. Las dosis crecientes de N no incidieron significativamente en el porcentaje de materia seca acumulada en los tubérculos.
7. Los materiales promisorios, CIP396009,240 y CIP398017,53, lograron acumular niveles óptimos de materia seca en los tubérculos, lo que permitiría que puedan ser empleados en procesamiento agroindustrial.
8. Las dosis 120 Kg N/ha y 160 kg N/ha condujeron a una menor incidencia de corazón vacío en tubérculos con pesos mayores a los 300g.
9. La aplicación de 200 Kg N/ha favoreció la incidencia de Corazón vacío en los cultivares de papa evaluados.
10. Los materiales promisorios evaluados presentaron mayor tolerancia a la enfermedad Roña y *Rhizoctonia* sp. que la variedad comercial Granola.
11. Los materiales promisorios CIP396009,240 y CIP398017,53 presentaron alta productividad, tolerancia a enfermedades, facilidad de comercialización y

potencial de uso en agroindustria, de manera que son una buena alternativa para los sistemas de producción de papa de Costa Rica.

12. La dosis óptima de N para la generación del mejor beneficio marginal en la producción de los cultivares CIP398017,53 y Granola, está entre 120 Kg N/ha y 160 Kg de N/ha. En el caso del cultivar CIP396009,240, la dosis óptima de N correspondió los 200 Kg/ha.

6 RECOMENDACIONES

1. Los materiales promisorios evaluados antes de ser liberados se les debe afinar más el manejo de la fertilización, especialmente enfocada en disminuir la incidencia de corazón vacío.
2. Evaluar la incidencia de CV y relación con la época de siembra, valorando el posible efecto de las variables climáticas.
3. Considerando que los cultivares promisorios tienden a formar entre un 20 y 30% de tubérculos con pesos superiores a 300g, se podría valorar la necesidad de estudiar y describir los momentos exactos (dds) de las etapas de formación de tubérculos tomando en cuenta diferentes niveles de fertilización, factores ambientales (precipitación, humedad del suelo, radiación, temperatura) y curvas de absorción de nutrientes.
4. Los materiales promisorios al tener tolerancia a enfermedades y tener características de alta productividad tienen alto potencial de establecerse en fincas con sistemas de producción orgánica u otro tipo de certificaciones, con la ventaja de que se cosecharía tubérculos amarillos que tienen mayor facilidad de comercialización. Sin embargo, de igual forma hay que tener presente las demandas nutricionales que deben ser suplidas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Arteca, R. 2015. Introduction to Horticultural science. 2. ed. Stamford, USA. Cengage Learning. 609 p.
- Avilés, J. y Piedra, R. 2017. Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.) (en línea). San José, Costa Rica, INTA. Consultado el 10 may. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10931.pdf>
- Avilés, J. y Piedra, R. 2017. Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.) (en línea). San José, Costa Rica, INTA. P. 45. Fuente original: Bolaños, A. 1998. Introducción a la olericultura. San José, Costa Rica, EUNED. 380p.
- Bertsh, F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS. 157 p.
- Beukema, H y van der Zaag, D. 1990. Introduction to potato production (en línea). Wageningen, Países Bajos, Pudoc.208 p. Consultado el 18 ene. 2020. Disponible en <https://edepot.wur.nl/411163>
- Bonierbale, M.W.; Haan, S. de.; Forbes, A.; Bastos, C. (eds.). 2010. Procedimientos para pruebas de evaluación estandar de clones avanzados de papa: Guía para cooperadores internacionales (en línea). Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa (CIP). Consultado el 20 may. 2018. Disponible en <https://cipotato.org/publication/procedimientos-para-pruebas-de-evaluacion-estandar-de-clones-avanzados-de-papa-guia-para-cooperadores-internacionales/>
- Cambouris, A., Luce, M., Ziadi, N., Zebarth, B. y Perron, I. 2016. Effect of nitrogen source and rate on potato tuber external and internal physiological disorders (en línea). Consultado el 21 feb. 2019. Disponible en http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Ziadi%20_Noura3.pdf
- Caravaca, P. 2019. Análisis y Monitoreo de Mercados de papa Boletín n°. 3 (en línea). San José, Costa Rica. CNP. Consultado el 11 de feb. 2020. Disponible en

https://www.simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Raices_y_Tuberculos/papa/2019/A_papa_03_20-12-2019.pdf

CIP (Centro Internacional de Papa, Perú). 2015. CIP: Datos y cifras de la papa (en línea, sitio web). Consultado 05 abr. 2018. Disponible en <https://cipotato.org/es/lapapa/dato-y-cifras-de-la-papa/>

CIP (Centro Internacional de Papa, Perú). 2018. Catalogue of CIP advanced clones (en línea, sitio web). Lima, Perú. Consultado 05 abr. 2018. Disponible en https://research.cip.cgiar.org/cipcatlg_ac/Catalogue.php?cipnumber=CIP398017.53

Di Rienzo, J., Casanoves F., Balzarini M., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Falloon, R., Shah, F., Lister, R., Scott, C., Curtin, D., Thomas, S., Barlow, H., Francis, G. Tabley, F. y Gillespie, R. Nitrogen fertilizer increases powdery scab incidence and severity (en línea). Consultado el 14 feb. 2020. Disponible en <http://www.spongospora.ethz.ch/EUworkshop07/abstracts/Paper%20Summary%202nd%20EPSW%20Nitrogen%20fertiliser%20effects.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. FAOSTAT: base de datos sobre alimentación y agricultura (en línea). Consultado 17 feb. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2008. ¿Por qué la papa? Año internacional de la papa (en línea). Consultado el 17 feb. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/elaip/index.html>

Gutiérrez, R., Espinoza, J. y Bonierbale, M. 2007. UNICA: variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas (en línea). Revista Latinoamericana de la Papa 14(1): 41-

50. Consultado 03 jun. 2018. Disponible en <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/143/146>
- Hiller, L., Koller, D. y Thornton, R. 1985. Physiological disorders of potato tubers. Potato Physiology (en línea). Washington, USA. Consultado el 20 de feb. 2020. Disponible en <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-447660-8.50017-X>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Cultivos Agrícolas, Forestales y Ornamentales (en línea). San José, Costa Rica, INEC. 285 p. Consultado 10 may. 2018. Disponible en: <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/agropecuario/publicaciones/reagropeccenagro2014-tii-007.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). 2012. Nuevas variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) liberadas en Costa Rica (en línea). Consultado 02 jun. 2018. Disponible en <http://www.inta.go.cr/images/documentos/boletines/Papa.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). 2015. Suelos de Costa Rica: Orden Andisol (en línea). San José, Costa Rica, INTA. 4 p. Consultado 13 may. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1828.PDF>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). 2017. Memoria Institucional 2016 (en línea). Consultado 14 jun. 2018. Disponible en <http://www.inta.go.cr/images/documentos/memorias/Memoria-INTA-2016.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). 2018. Memoria Institucional 2017 (en línea). Consultado 14 jun. 2018. Disponible en <http://inta.go.cr/images/documentos/memorias/Memoria-INTA-2017.pdf>

- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). 2019. Memoria Institucional 2018 (en línea). Consultado 14 ene. 2020. Disponible en <http://www.inta.go.cr/images/documentos/memorias/Memoria-INTA-2018.pdf>
- Kass, D. 2007. Fertilidad de suelos. Ed. Jorge Núñez Solís. 1. Ed. San José, Costa Rica. EUNED. 272 p.
- Khan, M., Yin, X., van der Putten, P., Jansen, H., van Eck, H., van Eeuwijk, F. y Struik, P. 2012. Analysis of genetic variation of potato (*Solanum tuberosum* L.) using standard cultivars and a segregating population, II Tuber bulking and resource use efficiency. Assessing genetic variation in growth and development of potato (en línea). Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen University. Consultado 03 jun. 2018. Disponible en <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/222595>
- Mora, S. y Quirós, Y. 2019. Boletín Estadístico Agropecuario no.29: Serie cronológica 2015-2018 (en línea). San José, Costa Rica, SEPSA. 143 p. Consultado 18 feb. 2020. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA29.pdf>
- ONS (Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica). 2018. Certificación de Semilla de Papa (en línea). Consultado 03 jun. 2018. Disponible en <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semilla-de-papa/>
- Ospina, C., Lammerts van Bueren, E., Allefs, J., van der Putten, P., van der Linden, C., Maliepaard, C y Struik, P. 2016. Source and amount of nitrogen affect relations between canopy development and yield traits of diverse potato cultivars. Nitrogen use efficiency in potato: an integrated agronomic, physiological and genetic approach (en línea). Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen University. 177 p. Consultado el 15 feb. 2020. Disponible en <https://edepot.wur.nl/378131>

- Oyarzún, P., Chamorro, F., Córdoba, J., Merino, F., Valverde, F. y Velázquez, J. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador (en línea). Ed. Manuel Pumisacho y Stephen Sherwood. Quito, Ecuador. INIAP-CIP. 229 p. Consultado el 11 feb. 2020. Disponible en <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- PIMA (Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, Costa Rica). 2016. Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses (en línea). Consultado 10 may. 2018. Disponible en <http://www.pima.go.cr/wp-content/uploads/2017/07/Analisis-Consumo.pdf>
- Santos, M. 2010. Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca (en línea). Consultado el 21 feb. 2019. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/8744/1/790678.2010.pdf>
- Serrano, I., Morales, I., Valverde, M. y Gómez, A. 2015. Acuerdo de competitividad Agro cadena de papa en Costa Rica (en línea). Consultado 05 abr. 2018. Disponible en http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/estructura/oficinas/DNEA/Agenda%20de%20Competitividad%20de%20la%20Agrocadena%20de%20Papa-18-06-15.pdf
- Shah, F., Falloon, R., Butler, R., Lister, R., Thomas, S. y Curtin, D. 2014. Agronomic factors affect powdery scab of potato and amounts of *Spongospora subterranean* DNA in soil (en línea). Australasian Plant Pathol 43:679-689. Consultado el 14 feb. 2020. Disponible en DOI 10.1007/s13313-014-0317-4
- Soto y Villalobos. s.f. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica (en línea). Consultado el 02 feb. 2020. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- SQM-VITAS. s.f. Nutrición vegetal de especialidad, Etapas de crecimiento papa (en línea). Consultado el 20 ene. 2020. Disponible en <http://www.sqm->

vitas.com/es-pe/nutrici%C3%B3nvegetaldeespecialidad/informaci%C3%B3nporcultivos/papa.aspx#tabs-6

- Vos, J. 2009. Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato (en línea). Potato Research 52:305-317. Consultado el 05 feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/47817797_Nitrogen_Responses_and_Nitrogen_Management_in_Potato
- Vos, J. y Biemond, H. 1992. Effects of Nitrogen on the Development and growth of the potato plant, Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching (en línea). Annals of Botany. 70: 27-35. Consultado el 15 feb. 2020. Disponible en <https://sci-hub.tw/https://www.jstor.org/stable/42764456>
- Voyle, G. 2016. Hollow heart in potatoes (en línea). Michigan, USA. Consultado el 18 de feb. 2020. Disponible en https://www.canr.msu.edu/news/hollow_heart_in_potatoes
- Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Taylor, M. A., MacKerron, D. K., & Ross, H. A. (Eds.). 2011. Potato biology and biotechnology: advances and perspectives. Elsevier. Consultado 13 de may. 2018. Disponible en <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Cultures/Potato-Biology-and-Biotechnology.pdf>
- Wiersema, S. 1985. Desarrollo fisiológico de Tubérculos-Semillas de Papa, Boletín de información técnica 20 (en línea). Lima, Perú, CIP. 16 p. Consultado el 19 ene. 2020. Disponible en <https://www.scribd.com/document/114000946/Desarrollo-Fisiologico-de-tuberculos-semilla-de-papa>

8 ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico completo de suelo del área donde se desarrolló estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

 <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</p> <p>Código: IACS-01, Versión 01-17 Pág. 1 de 1</p>		<p>RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS</p>  <p>COSTA RICA GOBIERNO DEL BIENVENIDURO 2010-2014</p>				 <p>COMPLEJO LABORATORIAL DEL INTA San Rafael de La Unión, Cartago Tel. 2278-0514 Correo Electrónico: labsuelos@inta.go.cr</p>						
Fecha: 28 de marzo de 2019		Cliente: ING. JORGE MORA		Código análisis: DTS-LSF-01								
Finca: ALAJUELA		Cultivo: PAPA		Fecha de ingreso:								
Provincia: ALAJUELA		Cantón: Norte		Distrito:								
Coordenadas:				Oeste:								
Nº Lab.	Identificación de campo	pH H ₂ O	Cmol(+) / L				mg/L					% Sat. Acidez
			K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn	Mn	
	* Niveles críticos medios →	5,6-6,5	0,2-0,6	4 - 20	1 - 5	0,5-1,5	10 - 20	10 - 100	2 - 20	2 - 10	5 - 50	10 - 50
S- 4480	HENRY GUERRERO 1-A	5,7	0,43	9,7	1,0	0,2	31	64	3	8,7	4	2
S- 4481	HENRY GUERRERO 2-A	6,0	0,54	14,7	2,0	0,2	45	41	4	8,2	3	1
S- 4482	HENRY GUERRERO 1-B	5,6	0,42	10,1	1,2	0,3	30	62	3	8,9	5	3
S- 4483	HINERY GUERRERO 2-B	6,1	0,51	14,5	2,0	0,2	46	37	4	8,0	2	1
<p>Metodología Utilizada: Olsen Modificado (K, P, Fe, Cu, Zn, Mn) – Extracción con KCl 1N (Ca, Mg, Acidez Extractable) – pH en * Adaptado del MAG, 1978, Díaz Romeu y Hunter; CATIE, 1978.</p>												
<p>Ing. Marco Vinicio Corrales Soto COORDINADOR DE LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</p>												

*Se realizaron dos repeticiones de dos muestras de suelo del lote establecido para el ensayo.

Anexo 2. Manejo agronómico utilizado durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

Sem.	dds	Fecha	Producto	Cantidad	Volumen total	Tipo Aplicación	Dosis por Estañón	Costo del producto	Unidad	Costo dosis aplicada
0	0	16/05/2019	Microorganismos Montaña	20 L	100 L	Drench	40L/200L	¢30,00	L	¢600,00
			Multiraíz	250 ml			500ml/200L	¢7,73	ml	¢1 932,38
			Biozyme	225 ml			450ml/200L	¢32,32	ml	¢7 272,95
			Trichoderma	1 Kg			2Kg/200L	¢4 500,00	Kg	¢4 500,00
			Metarhizium	2 Kg			4Kg/200L	¢4 500,00	Kg	¢9 000,00
			Rootplex	125 ml			250ml/200L	¢6,96	ml	¢870,17
2	15	31/05/2019	Bacillus amyloliquefaciens	950 ml	75 L	Drench	1galón/200L	¢1,59	L	¢1 505,94
			Pseudomonas fluorescens	950 ml			1galón/200L	¢1,59	L	¢1 505,94
			Rootplex	75 ml			250ml/200L	¢6,96	ml	¢522,00
3	20	05/06/2019	Multiraíz	125 ml	50 L	Foliar	500ml/200L	¢7,73	ml	¢966,25
			Stimplex	65 ml			260ml/200L	¢3,96	ml	¢257,60
			Bravonil	125 ml			500ml/200L	¢9,50	ml	¢1 187,50
			Biogreen	125 ml			500ml/200L	¢1,83	ml	¢228,63
3	23	08/06/2019	Fosfirón	50 ml	50 L	Foliar	200ml/200L	¢6,77	ml	¢338,34
			Fungal	50 ml			200ml/200L	¢29,60	ml	¢1 479,76
4	27	12/06/2019	Acrobat	315 ml	90 L	Foliar	700ml/200L	¢27,42	ml	¢8 637,30
			Biogreen	225 ml			500ml/200L	¢1,83	ml	¢411,75
4	28	13/06/2019	Aporca							
4	30	15/06/2019	Herofol denso 18-17-18	225 ml	90	Foliar	500ml/200L	¢6,86	ml	¢1 542,82
			Aminomar	225 ml			500ml/200L	¢10,95	ml	¢2 464,68
			Trichoderma	0,5 g			1100g/200L	¢4 500,00	Kg	¢2 250,00
			Biogreen	225 ml			500ml/200L	¢1,83	ml	¢411,75
5	34	19/06/2019	Tecnosilix	225 ml	90 L	Foliar	500ml/200L	¢4,50	ml	¢1 013,17

			Multiraíz	250 ml		550ml/200L	₺7,73	ml	₺1 932,50
			Stimplex	200 ml		450ml/200L	₺3,96	ml	₺792,00
			Protifer	200 ml		450ml/200L	₺6,30	ml	₺1 260,00
			Bravonil	225 ml		500ml/200L	₺9,50	ml	₺2 137,50
			Biogreen	225 ml		500ml/200L	₺1,83	ml	₺411,75
5	34	19/06/2019	MM	20 L	100 L Drench	40L/200L	₺20,00	L	₺400,00
			Trichoderma	0,5 Kg		1 Kg/200L	₺4 500,00	Kg	₺2 250,00
			Agrotric	50 g		100g/200L	₺75,00	g	₺3 750,00
			Rootplex	125 ml		250ml/200L	₺6,96	ml	₺870,00
5	37	22/06/2019	Costalite	0,8 Kg	90 L Foliar	1.7Kg/200L	₺664,24	Kg	₺531,39
			Nutrex-micros	225 g		0.5Kg/200L	₺2,30	g	₺517,39
			Calci-Phite	225 ml		500ml/200L	₺6,70	ml	₺1 507,50
			Agrotric	50 g		110g/200L	₺75,00	g	₺3 750,00
			Biogreen	225 ml		500ml/200L	₺1,83	ml	₺411,75
6	41	26/06/2019	TripleCal	20 Kg	Suelo		₺179,62	Kg	₺3 592,45
6	41	26/06/2019	Costalite	0,8 Kg	90 L Foliar	1.7Kg/200L	₺664,24	Kg	₺531,39
			Nutri-Phite	225 ml		500ml/200L	₺7,50	ml	₺1 687,50
			Buffermin	140 g		300g/200L	₺14,00	g	₺1 960,00
			Stimplex	225 ml		500ml/200L	₺3,96	ml	₺891,00
			Acrobat CT	250 ml		555ml/200L	₺27,42	ml	₺6 855,00
			Biogreen	225 ml		500ml/200L	₺1,83	ml	₺411,75
7	49	04/07/2019	Aminomar	250 ml	100 L Foliar	500ml/200L	₺10,95	ml	₺2 738,53
			Tecnosilix	250 ml		500ml/200L	₺4,50	ml	₺1 125,75
			Calci-Phite	250 ml		500ml/200L	₺6,70	ml	₺1 675,00
			Agrotric	50 g		100g/200L	₺75,00	g	₺3 750,00
			Acaramick	50 ml		100ml/200L	₺55,00	ml	₺2 750,00
			Bioactivado	400 ml		800ml/200L	₺14,50	ml	₺5 800,00
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₺1,80	ml	₺450,00
8	55	10/07/2019	Nutre-Phite	250 ml	100 L Foliar	500ml/200L	₺7,50	ml	₺1 875,00
			Acrobat CT	350 ml		700ml/200L	₺27,42	ml	₺9 597,00

			Biogreen	250 ml			250ml/200L	฿1,80	ml	฿450,00
8	56	11/07/2019	Ciromazell	25 g	100 L	Foliar	50g/200L	฿282,38	g	฿7 059,55
			Biogreen	250 ml			500ml/200L	฿1,80	ml	฿450,00
8	58	13/07/2019	Amino K-42	250 ml	100 L	Foliar	500ml/200L	฿7,24	ml	฿1 809,19
			Bravonil	250 ml			500ml/200L	฿9,50	ml	฿2 375,00
			Acaramick	50 ml			100ml/200L	฿54,22	ml	฿2 711,20
			Ciperkil	100 ml			200ml/200L	฿7,02	ml	฿701,97
			Biogreen	250 ml			500ml/200L	฿1,80	ml	฿450,00
9	63	18/07/2019	Costalite	1 Kg	100 L	Foliar	2Kg/200L	฿664,24	Kg	฿664,24
			Aminomar	250 ml			500ml/200L	฿10,95	ml	฿2 737,50
			Nutre-Phite	250 ml			500ml/200L	฿7,50	ml	฿1 875,00
			Heromix BoMo	125 ml			250ml/200L	฿10,87	ml	฿1 358,72
			Bravonil	250 ml			500ml/200L	฿9,50	ml	฿2 375,00
			Ciperkil	100 ml			200ml/200L	฿7,02	ml	฿702,00
			Biogreen	250 ml			500ml/200L	฿1,80	ml	฿450,00
10	69	24/07/2019	Costalite	1 Kg	100 L	Foliar	2Kg/200L	฿664,24	Kg	฿664,24
			Eco-Hum K-Mg	250 ml			500ml/200L	฿4,40	ml	฿1 100,00
			Eco-Hum K-plus	250 ml			500ml/200L	฿4,00	ml	฿1 000,00
			Heromix BoMo	175 ml			350ml/200L	฿10,87	ml	฿1 902,25
			Biogreen	250 ml			500ml/200L	฿1,80	ml	฿450,00
10	72	27/07/2019	Costalite	0,5 Kg	100 L	Foliar	1Kg/200L	฿664,24	ml	฿332,12
			AgroK	400 g			800g/200L	฿6,47	g	฿2 586,02
			Herograma Cuaje	250 ml			500ml/200L	฿10,83	ml	฿2 706,75
			Stimplex	200 ml			400ml/200L	฿3,96	ml	฿792,00
			Bravonil	250 ml			500ml/200L	฿9,50	ml	฿2 375,00
			Biogreen	250 ml			500ml/200L	฿1,78	ml	฿444,23
11	76	31/07/2019	Heromix BoMo	225 ml	100 L	Foliar	450ml/200L	฿10,87	ml	฿2 445,75
			Kelik Calcio	500 ml			1L/200L	฿7,66	ml	฿3 829,05
			Kelik Magnesio	250 ml			500ml/200L	฿8,93	ml	฿2 232,03
			Protector K	500 ml			1L/200L	฿3,72	ml	฿1 859,26

			Bravonil	200 ml		400ml/200L	₱9,50	ml	₱1 900,00
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₱1,78	ml	₱445,00
12	82	06/08/2019	AgroK	600 g	100 L	1.2Kg/200L	₱6,47	g	₱3 882,00
			Kelik Magnesio	250 ml		500ml/200L	₱8,93	ml	₱2 232,50
			Auge Balanceador	500 ml		1L/200L	₱6,07	ml	₱3 035,51
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₱1,78	ml	₱445,00
12	86	10/08/2019	Heromix BoMo	275 ml	100 L	550ml/200L	₱10,87	ml	₱2 989,25
			Kelik Calcio	500 ml		1L/200L	₱7,66	ml	₱3 830,00
			Fytofert	250 g		500g/200L	₱10,14	g	₱2 535,00
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₱1,78	ml	₱445,00
13	91	15/08/2019	Auge Balanceador	500 ml	100 L	1L/200L	₱6,07	ml	₱3 035,00
			Protector K	500 ml		1L/200L	₱3,72	ml	₱1 860,00
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₱1,78	ml	₱445,00
14	97	21/08/2019	Auge Balanceador	500 ml	100 L	1L/200L	₱6,07	ml	₱3 035,00
			Biogreen	250 ml		500ml/200L	₱1,78	ml	₱445,00
15	104	28/08/2019	Chapea						
17	116	09/09/2019	Cosecha						
								TOTAL	₱196 558,41

Anexo 3. Cálculos realizados para estimación del Ingreso total por hectárea mediante los rendimientos obtenidos en categorías de tubérculos según el peso durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

Cuadro 1. Estimación de ingresos totales de acuerdo con la cantidad de Kg obtenidos en las cuatro categorías de tubérculos propuestas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

Cultivar	Dosis	Cat. 1 (Kg)	Precio	Ingreso	Cat. 2 (Kg)	Precio	Ingreso	Cat. 3 (Kg)	Precio	Ingreso	Cat. 4 (Kg)	Precio	Ingreso	Kg total	Ingreso total	Área m2	Ingreso €/m2	Ingreso €/ha
.240	80	4,73	€ 510	€ 2 413	6,67	€ 510	€ 3 400	2,04	€ 357	€ 727	3,26	€ 408	€ 1 329	16,69	€ 7 869	5,76	€ 1 366,09	€ 13 660 872,40
	120	6,15	€ 510	€ 3 134	6,61	€ 510	€ 3 373	2,17	€ 357	€ 776	4,05	€ 408	€ 1 653	18,98	€ 8 936	5,76	€ 1 551,43	€ 15 514 315,10
	160	5,64	€ 510	€ 2 879	6,31	€ 510	€ 3 219	2,19	€ 357	€ 782	3,73	€ 408	€ 1 521	17,88	€ 8 401	5,76	€ 1 458,50	€ 14 584 981,77
	200	6,53	€ 510	€ 3 329	6,86	€ 510	€ 3 498	2,15	€ 357	€ 768	4,29	€ 408	€ 1 749	19,82	€ 9 344	5,76	€ 1 622,21	€ 16 222 072,92
17.53	80	5,48	€ 510	€ 2 795	4,38	€ 510	€ 2 234	1,95	€ 357	€ 697	5,65	€ 408	€ 2 306	17,46	€ 8 031	5,76	€ 1 394,31	€ 13 943 143,23
	120	5,75	€ 510	€ 2 931	5,63	€ 510	€ 2 872	2,29	€ 357	€ 816	5,28	€ 408	€ 2 155	18,94	€ 8 773	5,76	€ 1 523,11	€ 15 231 070,31
	160	4,93	€ 510	€ 2 512	6,34	€ 510	€ 3 231	2,23	€ 357	€ 797	5,73	€ 408	€ 2 338	19,23	€ 8 879	5,76	€ 1 541,54	€ 15 415 369,79
	200	4,96	€ 510	€ 2 527	5,59	€ 510	€ 2 851	2,43	€ 357	€ 867	5,05	€ 408	€ 2 061	18,02	€ 8 306	5,76	€ 1 441,98	€ 14 419 763,02
Granola	80	1,60	€ 510	€ 817	4,09	€ 510	€ 2 085	3,66	€ 357	€ 1 307	0,98	€ 408	€ 398	10,33	€ 4 607	5,76	€ 799,75	€ 7 997 481,77
	120	2,59	€ 510	€ 1 320	4,41	€ 510	€ 2 250	3,70	€ 357	€ 1 322	0,49	€ 408	€ 200	11,19	€ 5 092	5,76	€ 884,08	€ 8 840 796,88
	160	2,88	€ 510	€ 1 470	5,59	€ 510	€ 2 852	3,66	€ 357	€ 1 307	1,06	€ 408	€ 434	13,20	€ 6 062	5,76	€ 1 052,50	€ 10 525 036,46
	200	2,30	€ 510	€ 1 170	5,50	€ 510	€ 2 807	3,05	€ 357	€ 1 090	0,95	€ 408	€ 389	11,80	€ 5 456	5,76	€ 947,21	€ 9 472 098,96

Léase “Cat.” como las siglas de Categoría. Los datos que se muestran corresponden a la cosecha realizada en el área útil de las subparcelas (5.76 m²)

Cuadro 2. Costo de materias primas utilizadas para diseñar fórmulas químicas durante estudio de niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento y calidad post cosecha en dos cultivares promisorios de papa, CIP398017,53 y CIP396009,240 respecto a la variedad comercial Granola, Finca La Esperanza, Tapezco, Zarcero, 2019

Materia Prima	Presentación (Kg)	Precio	Costo/gramo
MAP	45	₡ 19 431,92	₡ 0,43
K-Mag	45	₡ 15 780,00	₡ 0,35
KCl	45	₡ 17 135,56	₡ 0,38
Úrea	45	₡ 15 208,60	₡ 0,34