

# ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE CHILE DULCE

Roberto Ramírez Matarrita<sup>1</sup>, Kevin Carrillo Montoya<sup>2</sup>, Alejandro Ureña Sánchez<sup>3</sup>, Valerie Salazar Castillo<sup>4</sup>

## RESUMEN

**Análisis del crecimiento vegetal y absorción de nutrientes en el cultivo de chile dulce.** Se analizó el crecimiento y se determinaron las curvas de absorción de nutrientes en plantas de chile dulce del híbrido Polaris, desarrolladas en dos casas de mallas, en Cañas, Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo comprendido de junio a octubre del 2021. En cada muestreo se tomó una sub muestra de 2 plantas por cada módulo, iniciando al momento del trasplante y continuando posteriormente cada 15 días, para determinar el peso seco y el contenido de N, P, K, Ca, Mg y S, en cada sección de la planta y total, con el fin de calcular la extracción de los nutrientes con una densidad de siembra de 20 833 plantas.ha<sup>-1</sup> y un rendimiento de 1,49 kg.planta<sup>-1</sup> de fruta comercial obtenida en la prueba. El híbrido de chile dulce requirió un total de 2767 GDTA (grados días de temperatura acumulada) para completar el ciclo de evaluación, presentándose la mayor cantidad de biomasa seca al final del ciclo del cultivo con un peso de 153 g.planta<sup>-1</sup>, siendo las hojas el órgano que acumuló un mayor peso seco en las primeras etapas (0 - 632 GDTA), representando un 50 % del crecimiento de la planta, mientras que las flores y frutos obtuvieron mayor proporción de biomasa seca durante las etapas de reproducción y cosecha. La máxima acumulación de nutrientes ocurrió entre los 2275 y 2767 GDTA; con un orden de extracción para K>N>Ca>S>Mg y P de 140, 90, 34, 18, 12 y 8 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los nutrimentos N, K, Ca, Mg y S se acumularon en mayor cantidad en las hojas y tallo, mientras que, el P en los frutos. En el pico de cosecha, los frutos extrajeron en mayor proporción N, P, K y S, mientras que las hojas mayoritariamente Ca y Mg.

**Palabras clave:** Curva de absorción, casa de malla, rendimiento, agro climatología, fenología.

**Keywords:** Absorption curve, mesh house, yield, agroclimatology, phenology.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica. rramirezm@inta.go.cr

2 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica. kcarrillo@inta.go.cr

3 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica. aurenas@inta.go.cr

4 Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Costa Rica. vsalazarc@mag.go.cr

## INTRODUCCIÓN

El chile dulce es una de las hortalizas más apetecidas y normalmente cultivada por pequeños agricultores (SEPSA 2016). Con el uso de las tecnologías que promueve el INTA, se han generado iniciativas de proyectos promueven aumentar la seguridad alimentaria de las comunidades y fortalecen las economías rurales en la provincia de Guanacaste. Contar con recomendaciones técnicas para la gestión de la nutrición bajo las condiciones de esta zona, contribuye a la sostenibilidad de los sistemas productivos actuales mediante un ahorro de insumos fertilizantes y la reducción del impacto ambiental.

La nutrición en el cultivo de chile dulce es uno de los rubros más importantes entre los costos de producción y representa hasta más de un 10 % del total dependiendo del sistema productivo (Camacho 2017). A parte de influir en la rentabilidad, tiene un efecto directo sobre el desarrollo y productividad de la plantación, debido a que la cantidad de nutrientes que absorbe la planta en relación a su consumo de agua está determinada por las necesidades del cultivo que pueden variar

de un sitio a otro; en este sentido, un desequilibrio en la aplicación de los nutrientes, puede originar desbalances, que inducen no solamente en pérdidas económicas, sino también en daños ambientales.

Segura y Contreras (2015) indican que por medio de los estudios de absorción de nutrientes se pueden relacionar los máximos requerimientos con etapas claves del cultivo, como la floración, fructificación, así como las etapas de menor consumo, lo que genera una planificación más eficiente de la nutrición. En la actualidad se carece de estudios que indiquen los niveles adecuados de elementos según etapas fenológicas para el cultivo de chile dulce bajo las condiciones agroclimáticas de las comunidades que se encuentren dentro de la zona de vida del bosque tropical seco. El objetivo de este trabajo fue generar curvas de crecimiento y absorción de nutrientes en el cultivo chile dulce tipo “Bell” como insumo para afinar las recomendaciones de nutrición que se practican en las comunidades que cultivan esta hortaliza en la provincia de Guanacaste.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (E00411952 y N00258587), ubicada en la provincia de Guanacaste, cantón de Cañas, distrito de San Miguel, durante el periodo de junio a octubre de 2021. El sitio se encuentra a 10 m s. n. m. dentro de la zona de vida bosque húmedo premontano según la clasificación de Holdridge (Bolaños *et al.* 2005).

### Condiciones de suelo del sitio

Para realizar la caracterización del medio donde se desarrolló la prueba, se realizó un análisis físico-químico de suelos a partir de una muestra compuesta de 0-20 cm de profundidad; estas características se resumen en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Características químicas del suelo del sitio experimental, Cañas, 2021.

Solución extractora Olsen Modificado	pH	Cmol(+)/L				mg/L					MOS (%)
		K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn	Mn	
<b>Niveles críticos</b>	5,6	0,2	4	1	0,5	10	10	2	2	5	3
<b>CHILE DULCE</b>	6,6	1,53	15,9	5,3	0,3	50	9	5	2	7	4

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y aguas del INTA. 2021.

Cuadro 2. Características físicas del suelo del sitio experimental, Cañas, 2021.

% Fracción			Clase textural	Densidad aparente	Retención de humedad (atmósferas)		Agua útil
Arena	Arcilla	Limo			0.33	15	
34.1	33.9	32.0	Franco Arcilloso	1.07	15 %	11 %	4 %

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y aguas del INTA. 2021.

## Material experimental

Se utilizó el híbrido Polaris, el cual es una planta tolerante al virus del mosaico severo de la papa (PVY), vigorosa, de altura media y con producción de fruta uniforme. La fruta se destaca por poseer una maduración a amarillo, de buen sabor, con un mesocarpio espeso y crujiente.

## Desarrollo experimental y manejo agronómico

Los almácigos se elaboraron en un invernadero tipo capilla en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en el mes de abril del 2021, utilizando bandejas de polietileno con sustrato inerte (peat moss), aplicándose el riego diariamente por la capilaridad del sustrato y realizándose la nutrición dos veces por semana, utilizando 3 g/l del fertilizante soluble 12-20-30 + Mg. Se utilizaron dos módulos (casas malla) con dimensiones de 7 m de ancho por 14 m de largo y 5 m de altura. Las plantas se protegieron de la intensidad de la lluvia por medio de túneles de 2,3 m de altura por 1 m de ancho, provisto de una cobertura plástica transparente. Se utilizó una malla de sombreo (Sarán) móvil, con 50 % de transmisión de luz para proteger al cultivo de la alta radiación de la época, principalmente en las horas de mayor intensidad según registros de investigaciones anteriores

(10 a.m. a 2 p.m.). En el interior de cada módulo se adecuaron 6 hileras de 0,6 m de ancho por 0,3 m de altura, donde se trasplantaron 180 plántulas en el mes de mayo a una distancia entre centros de hileras de 1,2 m y de 0,4 m de una planta a otra, lo que significó una densidad de siembra de 20 833 plantas. ha<sup>-1</sup>.

El riego y la fertilización se realizó mediante un sistema presurizado, por medio de un sistema de inyección hidráulico con una proporción de ingreso de 4 % sobre el caudal, impulsado por una moto bomba de 1 Hp, reponiéndose una lámina diaria de 2 mm que es la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) para la época del año en que se desarrolló la investigación. Se utilizaron cintas de goteo con una descarga de 2,1 l/h y una separación entre emisores de goteo de 0,20 m. En los primeros 15 días después del trasplante se utilizó un coeficiente de cultivo (kc) de 0,50, posteriormente hasta el día 45 de 0,75 y de los 45 días hasta el final del ciclo productivo de 1. Las plantas tuvieron un libre crecimiento, sin la utilización de podas o deshijas y el manejo fitosanitario se realizó según la presión de enfermedades y plagas, a través de muestreos periódicos.

Para suministrar una cantidad adecuada de nutrimentos en el cultivo, se tomó en cuenta el análisis químico de suelo (cuadros 1 y 2), además se realizó una comparación entre las

recomendaciones basadas en extracciones de materiales de chile dulce en otras localidades (Noronha., 2004., Azofeifa y Moreira., 2005., Terbe et al. 2006). Se utilizaron las cantidades de nutrientes promedio según estas referencias, ajustando el plan de fertilización con el programa Nutrinet (Haifa Group 2021, Anexo 1).

## Muestreo y evaluaciones

Se realizaron 10 muestreos durante el ciclo del cultivo, con una frecuencia quincenal iniciando el día del trasplante con el análisis de las plántulas. Los siguientes muestreos se realizaron a los 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 y 135 días después del trasplante. Para cada muestreo se colectaron 2 plantas de cada casa de malla que fueron previamente identificadas. Para los estudios de absorción fue necesario contar con plantas con un desarrollo óptimo, por este motivo se tomó como referencia un diseño pre establecido de muestreo que garantizaba competencias entre las plantas, pero en caso de que la planta seleccionada no presentara dicha condición, se reemplazó por la mejor planta cercana con competencia completa (Ver anexo 2).

Para la parcela útil se tomaron plantas distribuidas en los módulos sin tomar en cuenta los bordes los cuales estaban conformados por 1 hilera en ambos extremos, así como 2 plantas iniciales y finales de cada una de las hileras. Las plantas muestreadas se fraccionaron según órganos (raíz, tallo, hojas, flores y frutos), se lavaron con agua potable, posteriormente con agua destilada y se realizó la medición de peso fresco de cada uno de los órganos. Para la determinación de peso seco se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en estufa a 70 °C por 72 horas.

Los análisis químicos y de materia seca se realizaron en el laboratorio de suelos, plantas y aguas del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Una vez molida la muestra, se determinó

la concentración de nitrógeno por medio de un autoanalizador Dumas. La concentración de los otros elementos, se realizó mediante la digestión con HNO<sub>3</sub> y determinación por espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (Agilent 5800-ICP-OES). Posteriormente utilizando el método descrito por Bertsch (2003), con la fórmula  $\text{kg nutriente/ tejido/planta} = \text{PS tejido (kg.planta-1)} \times \text{CN (\%)} / 100$ , se cuantificó la absorción de nutrientes mediante la relación del peso seco y la concentración del nutriente en cada tejido.

Los resultados de biomasa y absorción de nutrientes se relacionaron con la información climatológica de temperatura, proveniente de sensores instalados en los módulos y mediante el modelo de grados días de temperatura acumulada de Ometto según describe Yzarra et al. (2009) con las siguientes fórmulas:

Cuando  $T_m > T_b$  y  $T_M < T_B$

$$GD = \frac{(T_M - T_m) + (T_m - T_b)}{2}$$

Cuando  $T_m > T_b$  y  $T_M > T_B$

$$GD = \frac{2(T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_B)^2}{2(T_M - T_m)}$$

GD = Grados días

T<sub>M</sub> = Temperatura máxima diaria

T<sub>m</sub> = Temperatura mínima diaria

T<sub>b</sub> = Temperatura base mínima

T<sub>B</sub> = Temperatura base máxima

Las condiciones climáticas que prevalecieron durante el desarrollo de la investigación fueron obtenidas mediante sensores colocados dentro de los sistemas de ambiente protegido. Se consideró 10 °C como temperatura base mínima y 35 °C como temperatura base máxima del cultivo de chile dulce (Maynard y Hochmuth 2007., Urban 1997). Con los datos de peso seco por tejido y etapa fenológica se calcularon parámetros fisiológicos y morfológicos según las fórmulas siguientes (Barrera et al. 2010).

## Fisiológicos

$$\text{TCR} = \frac{\text{LnW2} - \text{LnW1}}{(T2 - T1)}$$

$$\text{TAC} = \frac{W2 - W1}{T2 - T1}$$

Donde

TCR: Tasa de crecimiento relativo

TAC: Tasa absoluta de crecimiento

W: Peso

T: Tiempo

LnW1: log.nat peso inicial

LnW2: log.nat peso final

## Morfológicos

$$\text{RPF} = \frac{\text{PS del follaje}}{\text{PS total planta}}$$

$$\text{RPC} = \frac{\text{PS parte comercial}}{\text{PS total planta}}$$

Donde:

RPF: Razón de peso foliar

RPC: Razón de peso comercial

PS: Peso seco

El rendimiento productivo se obtuvo muestreando 12 plantas en cada módulo de casa de malla, distribuyéndose 3 plantas en cada una de las 4 hileras centrales (Ver anexo 2). El análisis de la información se realizó por medio de estadística descriptiva, calculando las medias de las muestras para la construcción de gráficos que representan el crecimiento y absorción de nutrientes (Bertsch 2005).

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Grados días de temperatura

La temperatura es uno de los factores que influye en el crecimiento del chile dulce y normalmente el rango óptimo oscila entre 21 - 33 °C (Thuy y Murakami 2015). El estrés que se genera en las plantas ya sea por bajas o altas temperaturas, puede influir en la productividad y adaptación de los cultivares lo que afecta su desarrollo y producción (Cross et al. 2003). Los resultados de este estudio se describen en relación con grados días de temperatura acumulada (GDTA); este método tiene el propósito de generar una predicción del comportamiento del ciclo y la absorción de nutrientes del cultivar en otras localidades o diferentes épocas de producción a través del monitoreo de la temperatura diaria (Yzarra et al. 2009).

La figura 1, muestra los grados días y el porcentaje de acumulación obtenido por el híbrido Polaris según etapa fenológica. En total se requirió un aproximado de 2767 grados días de temperatura para completar el ciclo de evaluación (135 DDT). Las etapas de reproducción y cosecha fueron las que presentaron una mayor demanda (35 y 42 % respectivamente). Asimismo, la cosecha inició a los 1604 GDTA (75 DDT) aspecto importante debido a que en la región existen zonas productoras con condiciones climáticas distintas que pueden modificar el tiempo requerido en cada una de las etapas fenológicas.

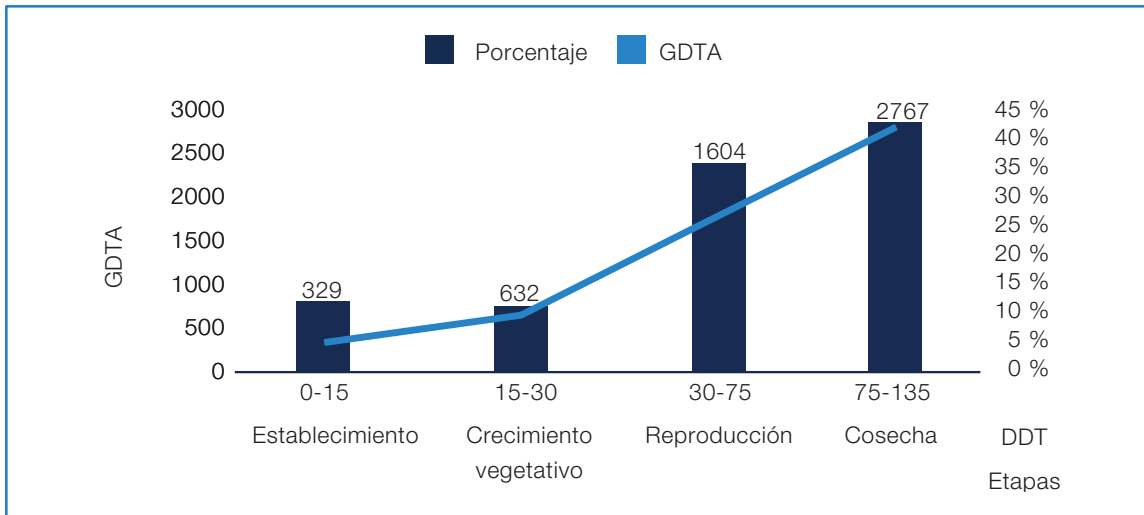


Figura 1. Grados días de temperatura acumulada y porcentaje requerido según etapa fenológica del híbrido Polaris, Cañas, Guanacaste, 2021.

### Biomasa seca

La fenología del cultivo de chile dulce se destaca en la región por cuatro etapas principales: establecimiento (trasplante), crecimiento vegetativo, reproducción (que incluye la floración y el desarrollo de frutos) y la cosecha. Después del establecimiento y crecimiento vegetativo que acumuló 632 GDTA, la planta condujo la etapa de reproducción hasta los 1604 GDTA (Figura 2). Posteriormente inició la cosecha donde los valores máximos de biomasa seca en esta etapa se logran a los 1604 y 2275 GDTA con 26,6 y 24,1 % respectivamente.

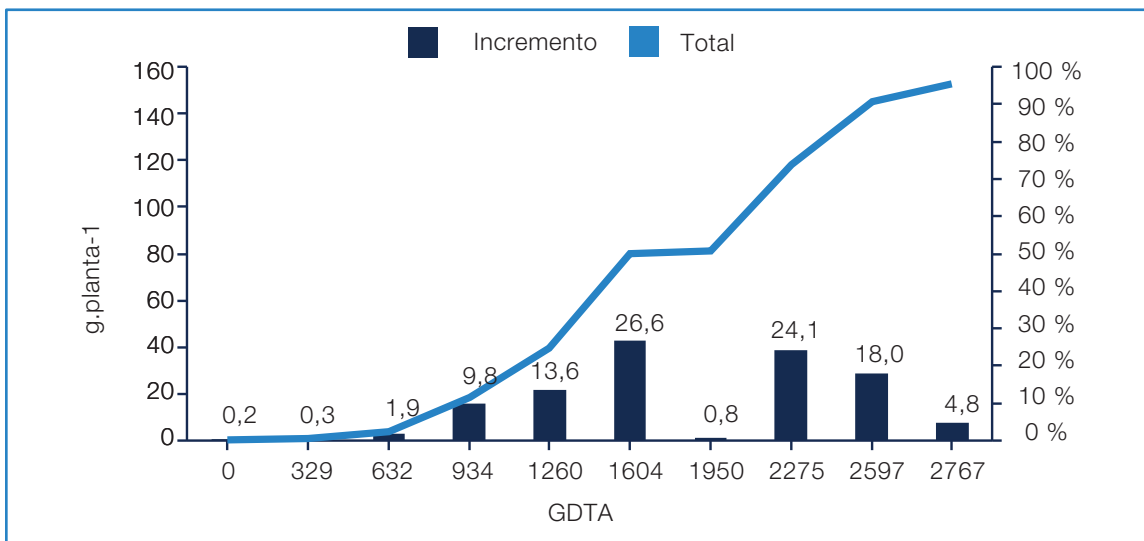


Figura 2. Biomasa seca total de la planta de chile dulce del híbrido Polaris y porcentaje de incremento durante su ciclo de desarrollo, Cañas, Guanacaste, 2021.

Todos los órganos presentaron hasta la etapa de crecimiento un desarrollo lineal en la producción de peso seco (1260 GDTA) y posteriormente hasta la finalización de la cosecha, fluctuaciones en el tiempo, con picos y mermas asociados a la acumulación de biomasa. En la etapa de reproducción como de cosecha, las flores y los frutos obtuvieron el mayor peso seco en casi todas las evaluaciones, con excepción de las de los muestreos realizados a los 1950 y 2597 GDTA en donde

los tallos y hojas superaron a estos órganos; esto concuerda con Azofeifa y Moreira (2008), quienes también observaron una disminución en el crecimiento de las plantas a partir de la aparición de los frutos producto de un cambio en la distribución de nutrientes. El órgano que acumuló mayor peso seco fue la hoja en las etapas de establecimiento y crecimiento vegetativo (0-632 GDTA), llegando a valores superiores del 50 % (Figura 3).

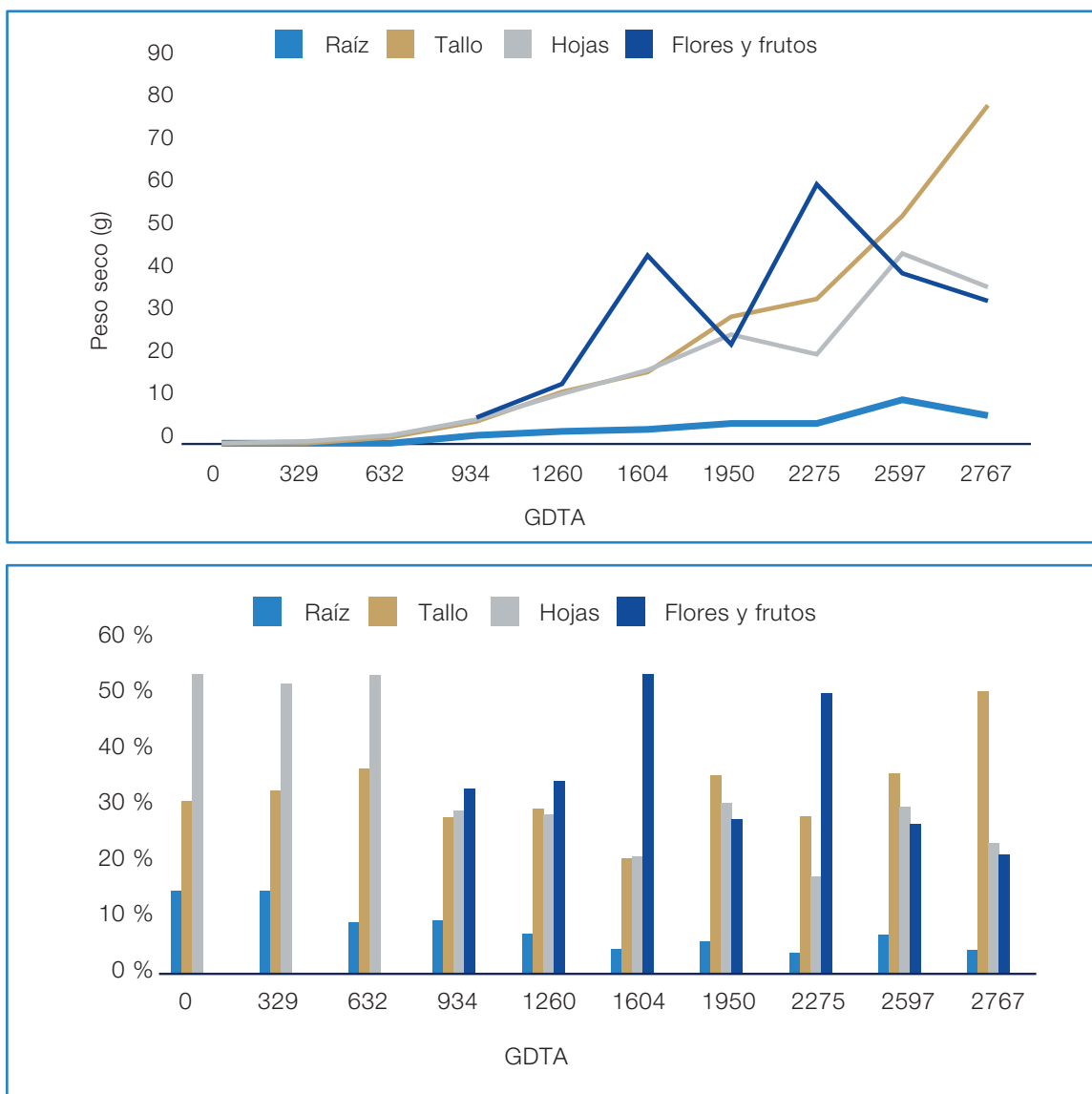


Figura 3. Curva de biomasa seca y porcentaje de peso seco por órgano respecto al peso seco total de la planta de chile dulce híbrido Polaris, durante su ciclo de desarrollo, Cañas, Guanacaste, 2021.

## Parámetros fisiológicos y morfológicos

### Razón de peso foliar y comercial

En la figura 4 se presentan los parámetros morfológicos referentes a la distribución de biomasa seca en la planta. Como se observó en la figura 3, la planta invierte más del 50 % en las primeras etapas para el crecimiento del follaje. Posteriormente, existen cambios en el crecimiento de este órgano durante todo su ciclo, lo cual podría ser regulado por prácticas de arquitectura de la planta, como las podas o deshoje (Casilimas et al. 2012). Asimismo, existen fluctuaciones en la parte comercial que coincide con picos de cosecha y disminuciones que podrían estar influenciadas por las condiciones climáticas, el estado fisiológico de la planta, y un descenso en el peso y tamaño de los frutos. (Ayala 2012).

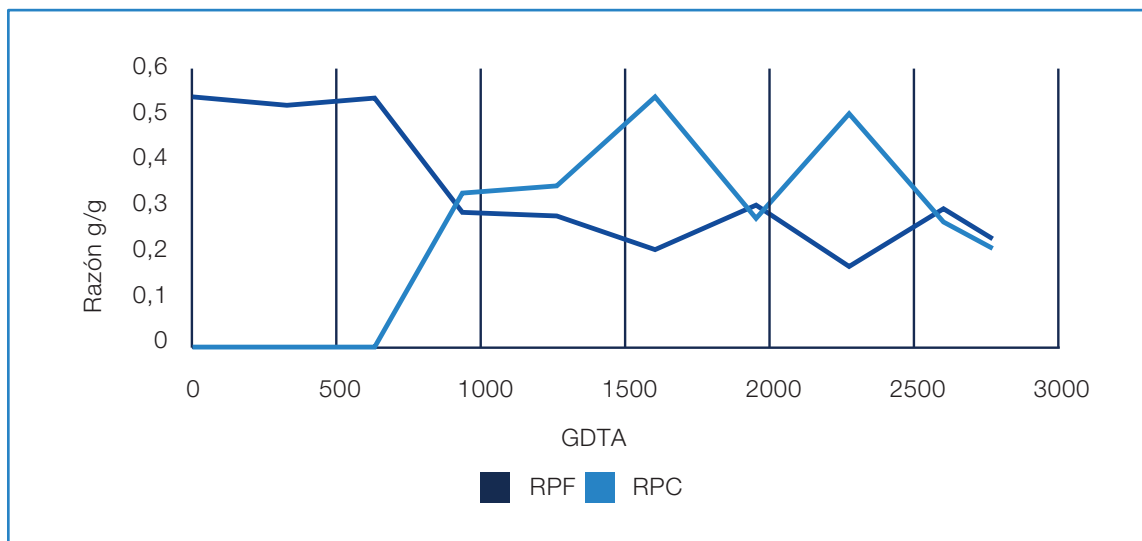


Figura 4. Razón de peso foliar (RPF) y comercial (RPC) de la planta de chile dulce híbrido Polaris, durante su ciclo de desarrollo, Cañas, Guanacaste. 2021.

### TCA y TCR

La tasa de crecimiento absoluto está definida como el cambio de tamaño de biomasa seca de una planta obtenido durante un día, mientras que la tasa de crecimiento relativo expresa la variación del tamaño por unidad de tamaño inicial (Hunt 2003., Almanza et al. 2016). Estas medidas permiten explicar la eficiencia de las plantas para acumular materia seca en los diferentes órganos, como resultado de los procesos metabólicos, así como relacionar estas variaciones con la cuantificación nutricional para las propuestas específicas en los programas de fertilización, los cuáles pueden diferir según tecnologías de producción, nutrimento y entre cultivares de la misma especie (Salazar y Juárez, 2013).

En el caso de la TCA, en la Figura 5 se observa que al inicio el incremento fue mínimo, esto podría ser debido a un estrés posttrasplante, donde la planta utiliza sus reservas internas y no acumula biomasa (Salisbury y Ross 2000). Después de esta etapa, la planta posee un aumento escalonado hasta la fase de mayor incremento en biomasa seca y pico de producción (1604 GDTA). Posteriormente la planta disminuyó la producción de biomasa debido a que inició un proceso de renovación de tejidos por la inversión energética para la producción de frutos. A los 1604 y 2275 GDTA se obtuvo la mayor cantidad de biomasa seca por día, que coincide con picos máximos de cosecha, donde la planta experimenta un crecimiento activo para el llenado de frutos y una alta tasa de producción de hojas para la producción de fotoasimilados (Almanza et al., 2016).



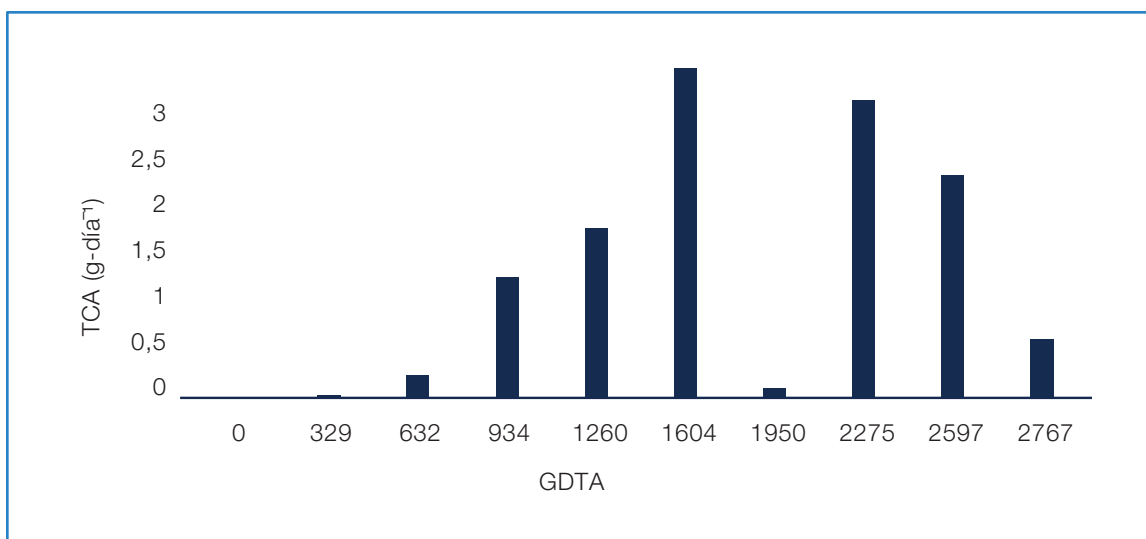


Figura 5. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de la planta de chile dulce híbrido Polaris, durante su ciclo de desarrollo, Cañas, Guanacaste, 2021.

En el caso de la TCR, los mayores valores se alcanzaron entre los 329 y 934 GDTA, con un rango entre 0,06 - 0,11 g/g/día que coincide con la etapa de incremento vegetativo (Figura 6). Posteriormente, la planta posee una disminución en el crecimiento producto de la aparición de órganos reproductivos; estos procesos involucran fenómenos de crecimiento y diferenciación celular que implica el desarrollo coordinado de un gran número de tejidos de la planta (Casierra *et al.*, 2007). Finalmente ocurre una fuerte disminución lo cual podría relacionarse a la senescencia de la planta.

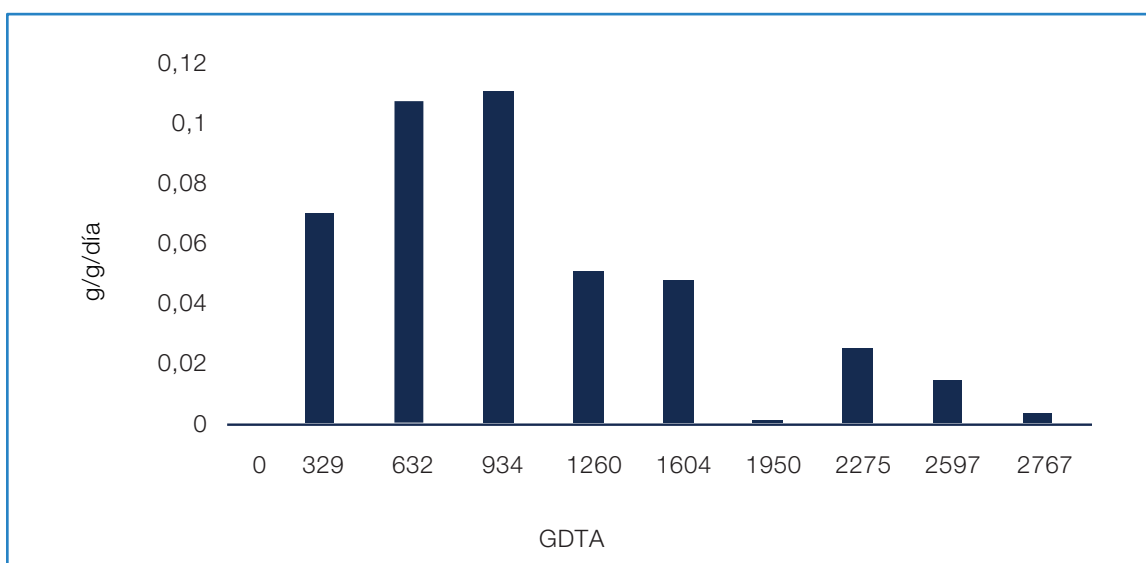


Figura 6. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de la planta de chile dulce híbrido Polaris, durante su ciclo de desarrollo, Cañas, Guanacaste, 2021.

### Rendimiento productivo

La cosecha empezó a los 75 días después del trasplante, cuando el cultivo obtuvo 1604 GDTA, coincidiendo este inicio con otra investigación que se realizó en el mismo Centro Experimental en el año 2015, utilizando otro híbrido de chile dulce tipo Bell, lo que demuestra que por las condiciones ambientales de la zona, especialmente de luminosidad, existen una mayor precocidad y variaciones en la duración de las etapas fenológicas, comparándolas con las zonas tradicionales de producción de chile dulce que se encuentran en el Valle Central (Ramírez et al; 2018). El ancho y largo promedio de frutos fue de 6,68 y 6,21 cm respectivamente, por lo que la producción se califica según las normas de calidad para exportar a Estados Unidos de Norteamérica como de talla mediana (Carrillo 2016).

Cada planta produjo 11,25 frutos, con peso promedio de 132,88 g/fruto, lo que resultó en un rendimiento por planta de 1 494,96 g, el cual, extrapolado a una hectárea, contemplando una población de 20 800 plantas significó un rendimiento de 31 095,13 kg/ha, (Cuadro 3). Según FAO (2019), este rendimiento superó al promedio mundial de todos los tipos de chile (*Capsicum annum*) obtenido en el año 2018 el cual fue de 18 470 kg/ha y también al alcanzado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez ubicada en la provincia de Guanacaste durante la temporada de investigación desarrollada en el año 2020, utilizando cultivares de chile dulce tipo Bell en casa de malla con 26 432 kg/ha (Ramírez 2021).

Cuadro 3. Valores promedios de largo y ancho de fruto; Así como rendimiento por planta y por hectárea.

Ancho de fruto (cm)	Largo de fruto (cm)	Frutos por planta	Peso de fruto (g)	Rend. por planta (g)	Rend. kg/ha
6,68	6,21	11,25	132,88	1 494,96	31 095,13

La producción total se obtuvo en cuatro cosechas, durante un periodo que comprendió 60 días de las cuales un 57,10 % se alcanzó en la primera y última cosecha, mientras que en la segunda y tercera se obtuvo 18,61 y 24,29 % respectivamente, por lo que se infiere que la distribución de la producción no es homogénea (Figura. 7). Esto se relaciona con la disminución entre los 1604 y 2275 GDTA, donde la planta invierte en la producción de fotoasimilados y la recuperación de tejidos por el fuerte agotamiento de la primera cosecha.

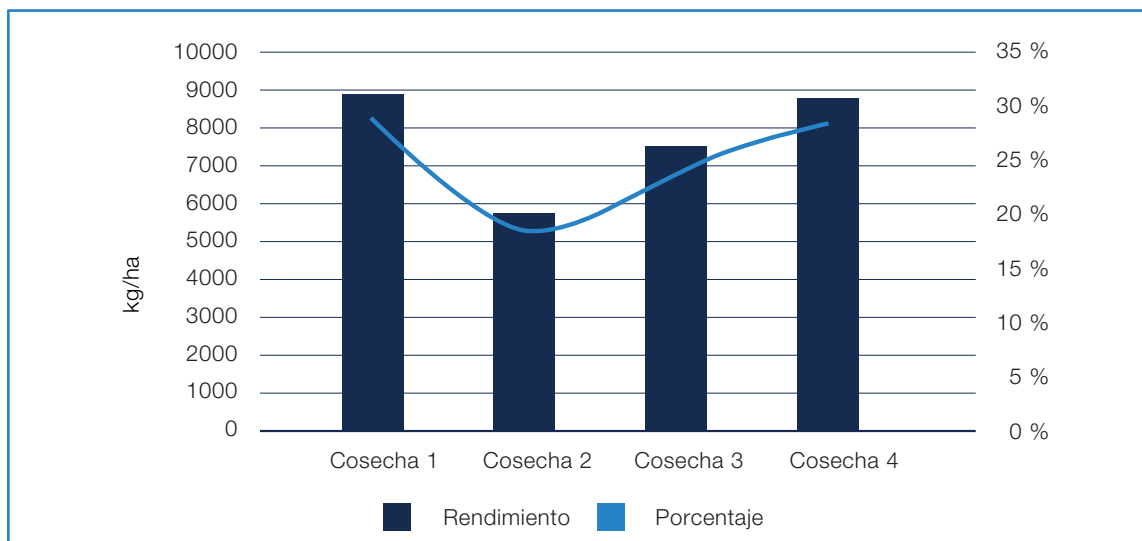


Figura 7. Distribución del rendimiento productivo en kg por hectárea y porcentual por cada semana de cosecha, 2021.

## Acumulación de nutrientes

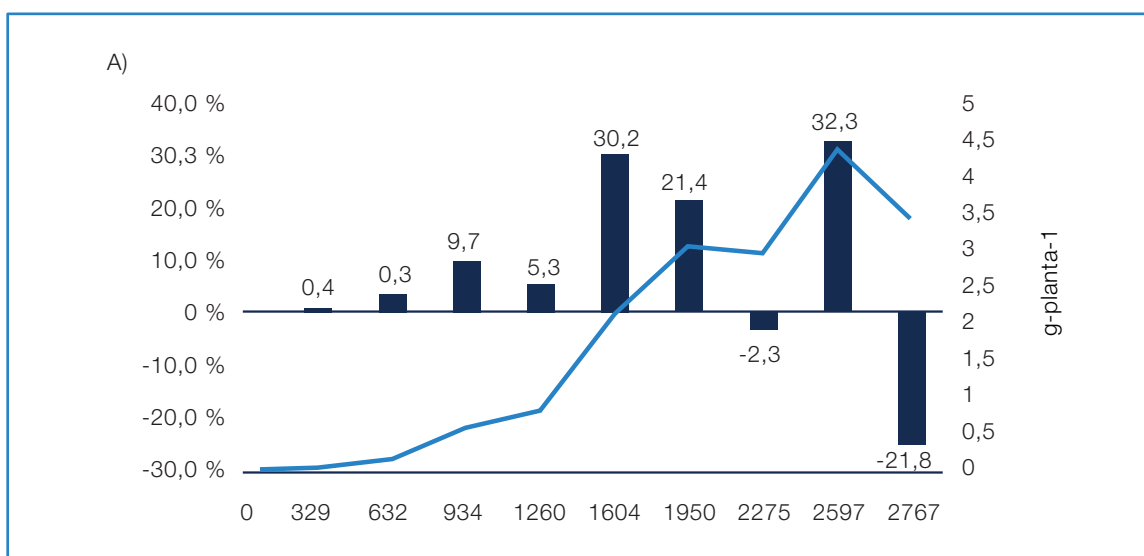
### Nitrógeno (N)

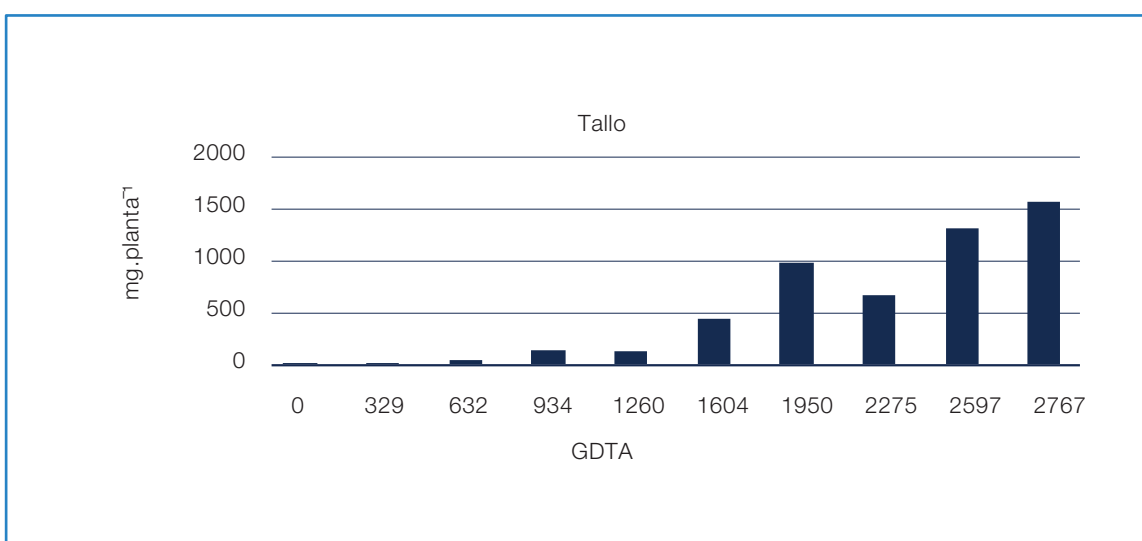
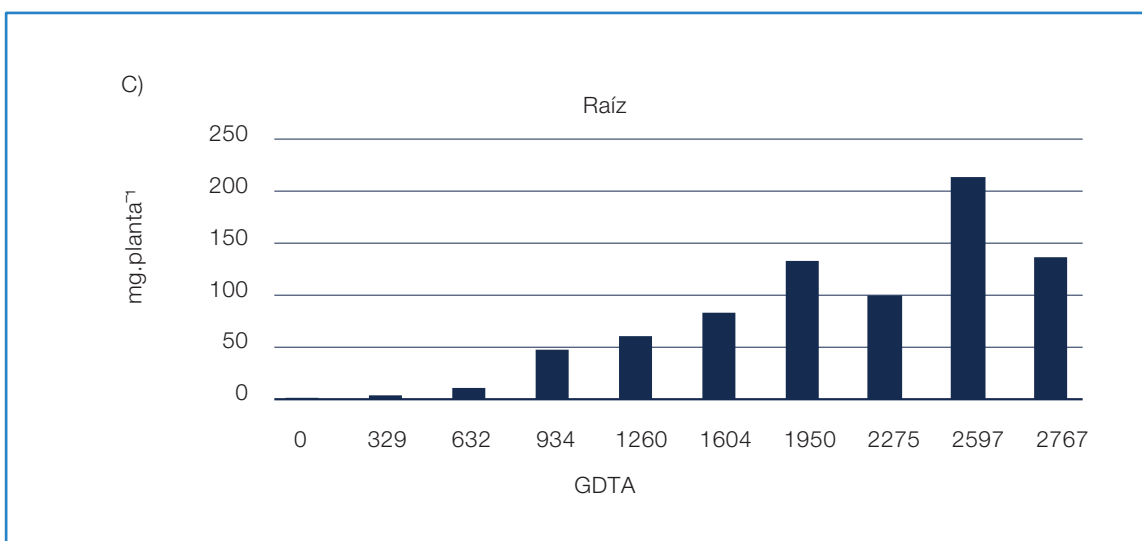
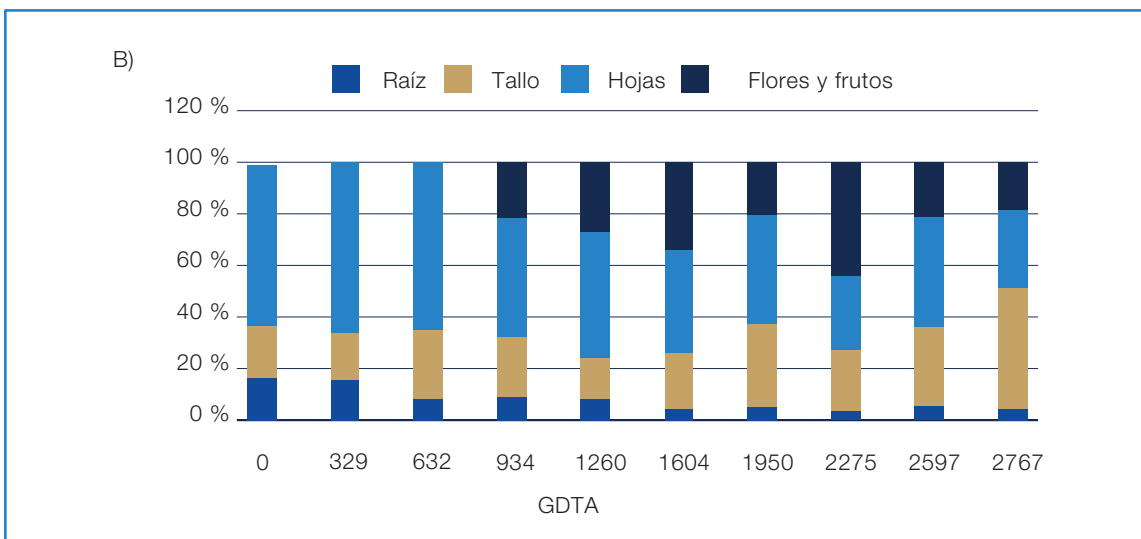
El N es esencial para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, siendo una parte integral de la estructura y función de las proteínas y los cloroplastos (Barker y Bryson, 2007). La figura 8, muestra la absorción total, el porcentaje de incremento y la distribución de N en los distintos órganos de la planta de chile dulce. En total se acumuló  $4,3 \text{ g.planta}^{-1}$  y fue el segundo elemento de mayor absorción, lo que coincide con Fontes et al. (2005), quienes encontraron la misma secuencia de extracción, evidenciándose que las etapas de mayor demanda son la reproductiva y de cosecha con 32,3 % de incremento a los 2597 GDTA.

El N es un elemento móvil esencial en la división y expansión celular, así como en el crecimiento de estructuras vegetativas, tales como tallos y hojas (Sonneveld y Voogt, 2009). Las hojas es el órgano que mayor absorbió N con  $1851 \text{ mg.planta}^{-1}$  a los 2597 GDTA, y se mantuvo como el de mayor proporción de absorción

durante casi todas las evaluaciones, con excepción a los 2767 y 2275 GDTA que fue superado por el tallo (47 %) y por los órganos reproductivos (44 %) respectivamente. En el caso de la raíz, aunque su acumulación aumenta durante el crecimiento del cultivo hasta los 2597 GDTA inclusive, su proporción no supera el 10 % del total de absorción de la planta a partir de los 632 GDTA.

Terbe et al (2006), también encontraron mayor acumulación de nitrógeno en las hojas, seguido por los frutos y en menor proporción en el tallo y las raíces. Además, estos autores mencionan que la mayor fluctuación fue encontrada en las hojas y en el tallo con valores superiores a 50 % y la menor variación en las raíces, lo cual coincide con este estudio para hojas (29-67 %) y raíces (4-16 %). Según Yasour et al. (2013) entre el 32 % y el 64 % del N total removido por las plantas se acumula en los frutos, en el caso de este estudio representó un 30 % del total removido.





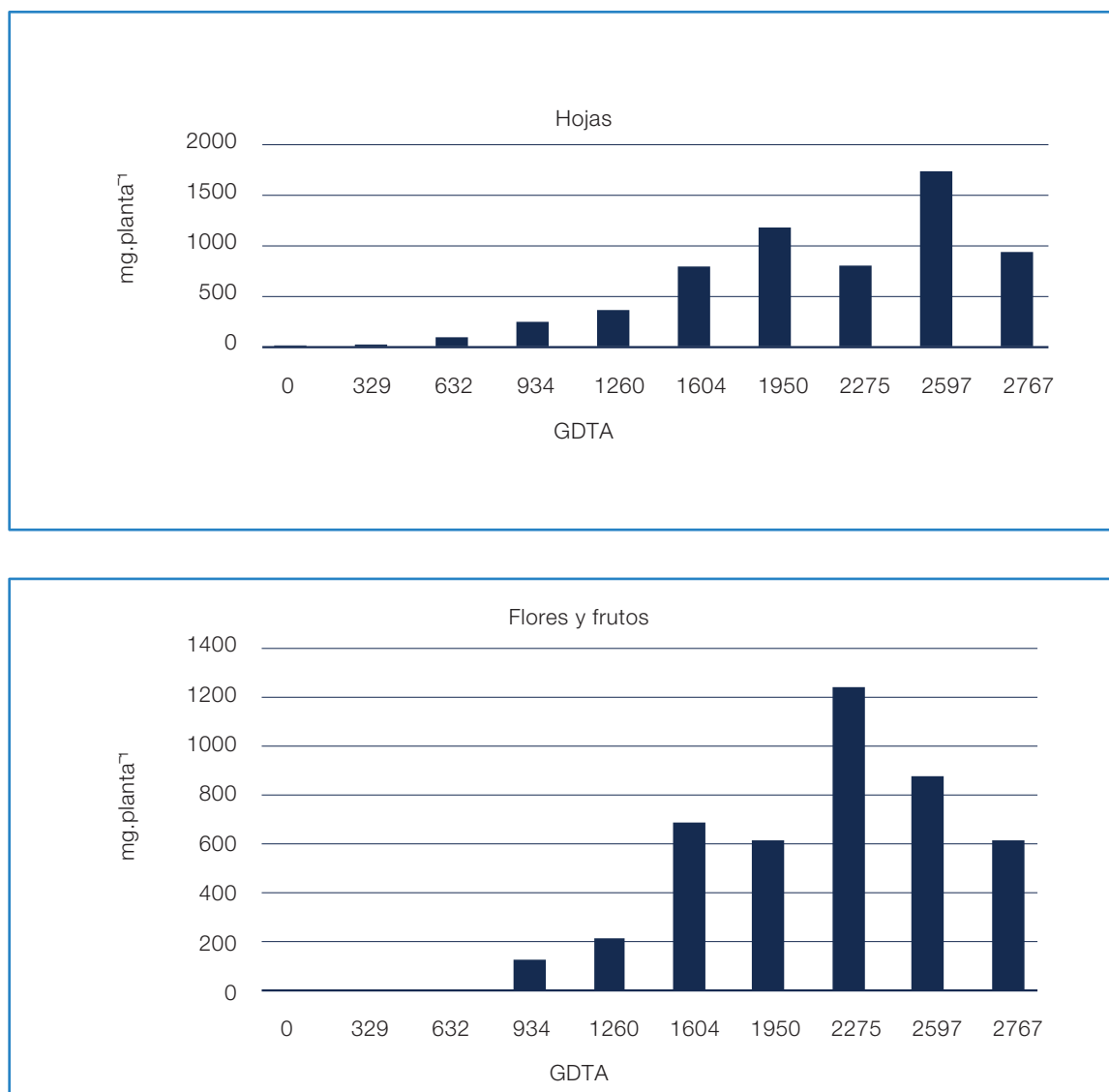


Figura 8. A) Porcentaje de absorción total e incremento de N. B) Distribución porcentual. C) Absorción de N por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

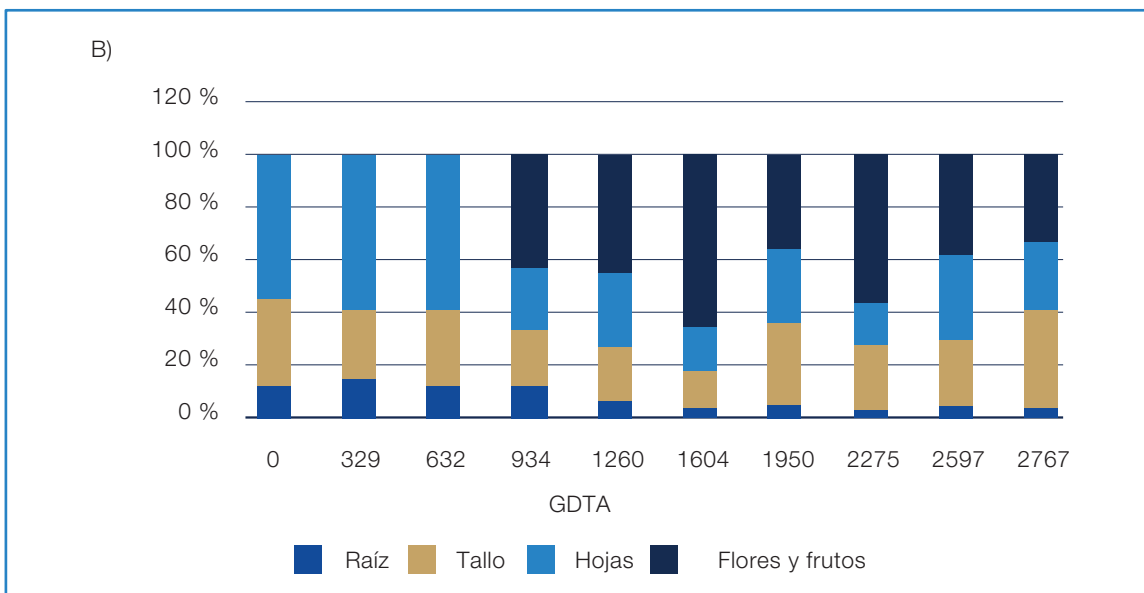
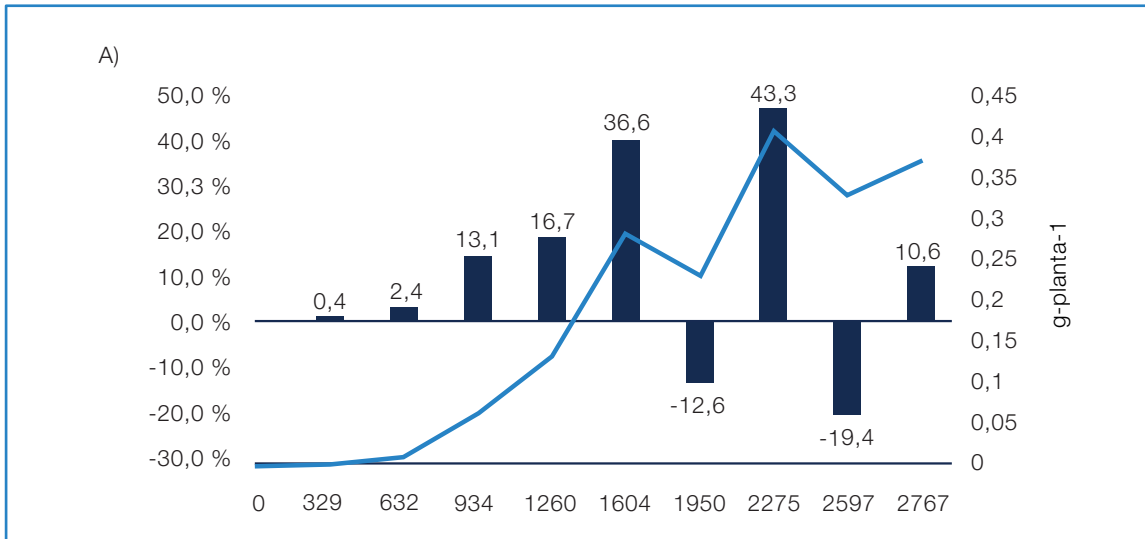
## Fósforo (P)

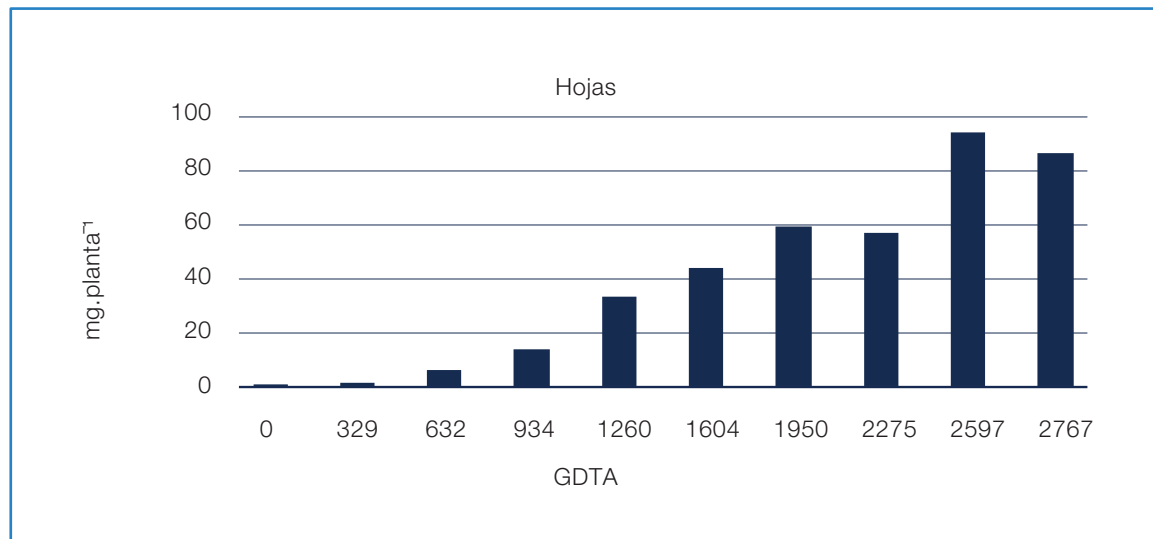
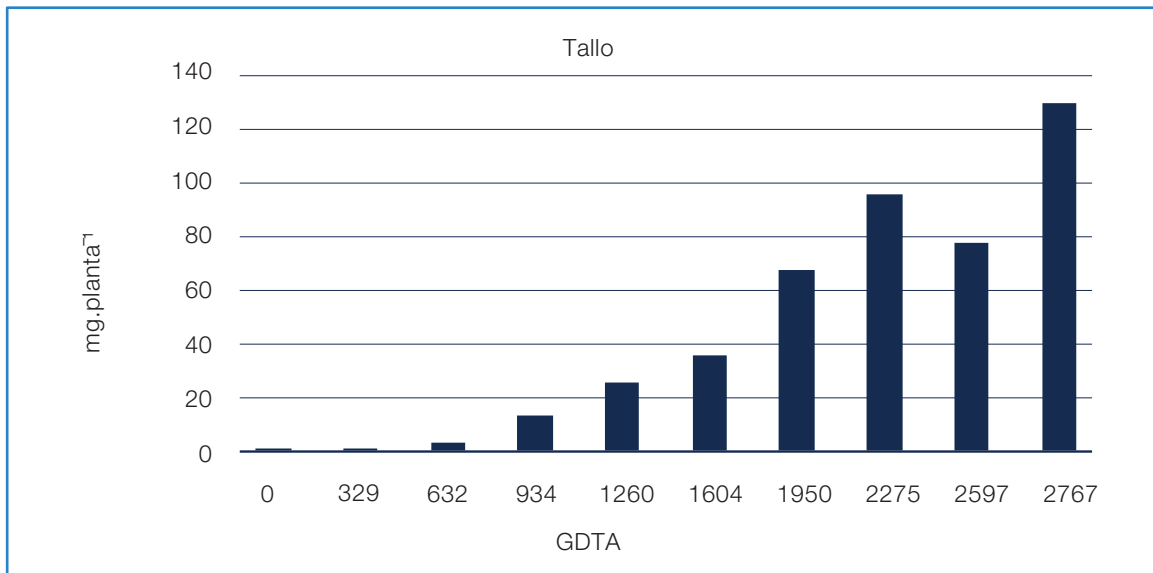
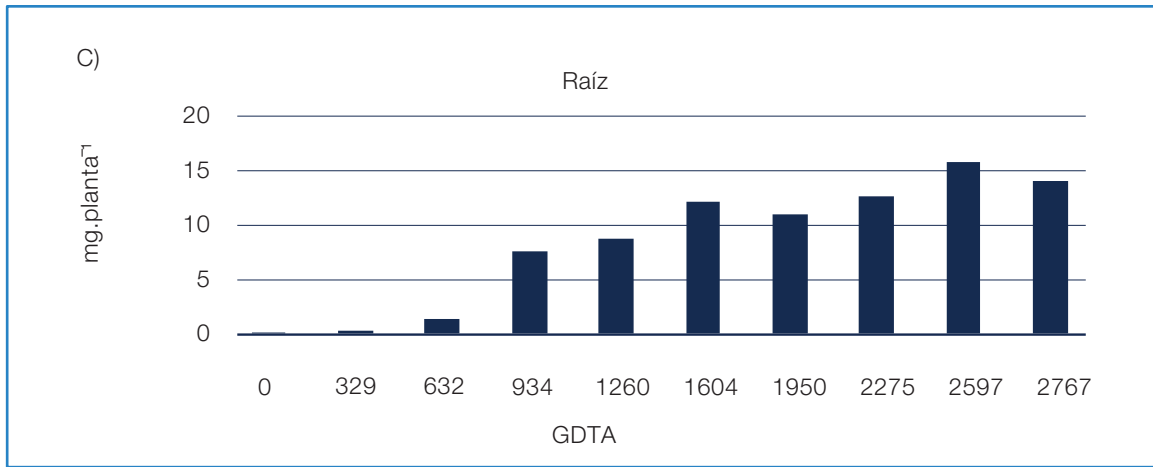
El fósforo está involucrado en la división celular, regulación de enzimas y transformación de azúcares, almidones y transporte de carbohidratos en la planta (Taiz et al. 2015). Los requerimientos de fósforo en las etapas iniciales del cultivo fueron bajos debido a que hasta los 934 GDTA se había acumulado menos de un 20 % del total (Figura 9). El momento de mayor absorción se encontró a los 2275 GDTA (cosecha) con 0,39 g.planta<sup>-1</sup> y coincidió con el mayor momento de incremento equivalente (43,3 %).

En la figura 9 se evidencia que este elemento es esencial en la etapa de reproducción (floración), debido a que los momentos de mayor acumulación fueron antes de los dos picos de cosecha. Los órganos de mayor absorción fueron las flores y frutos a los 2275 GDTA con 218 mg.planta<sup>-1</sup>, y a partir de los 934 GDTA fueron los órganos de mayor proporción de absorción total de la planta hasta el final del ciclo fenológico, que coincide con (Amira et al 2017) quienes determinaron que un aumento en la disponibilidad de P, conduce al crecimiento y mejora el rendimiento del chile dulce en el peso fresco, longitud, diámetro y número de frutos.

El fósforo absorbido por las plantas en diferentes tejidos como tallos, hojas jóvenes y puntos de crecimiento, se encuentran en activa movilidad y contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos (Mengel et al. 2001). En este estudio, para el tallo y las hojas, la mayor acumulación ocurrió a los 2767 y 2597 GDTA con 132 y 99 mg.planta<sup>-1</sup> y un incremento constante hasta los 2275 GDTA

para el tallo y 1950 GDTA en el caso de las hojas. Posteriormente ocurrió una disminución en ambos órganos y luego un incremento hasta el final del ciclo productivo. En el caso de la raíz se logró una mayor acumulación a los 2597 GDTA con 16,2 mg.planta<sup>-1</sup>, no obstante desde el establecimiento hasta los 934 GDTA posee una proporción similar del total de absorción de la planta con valores entre los 12 y 15 %.





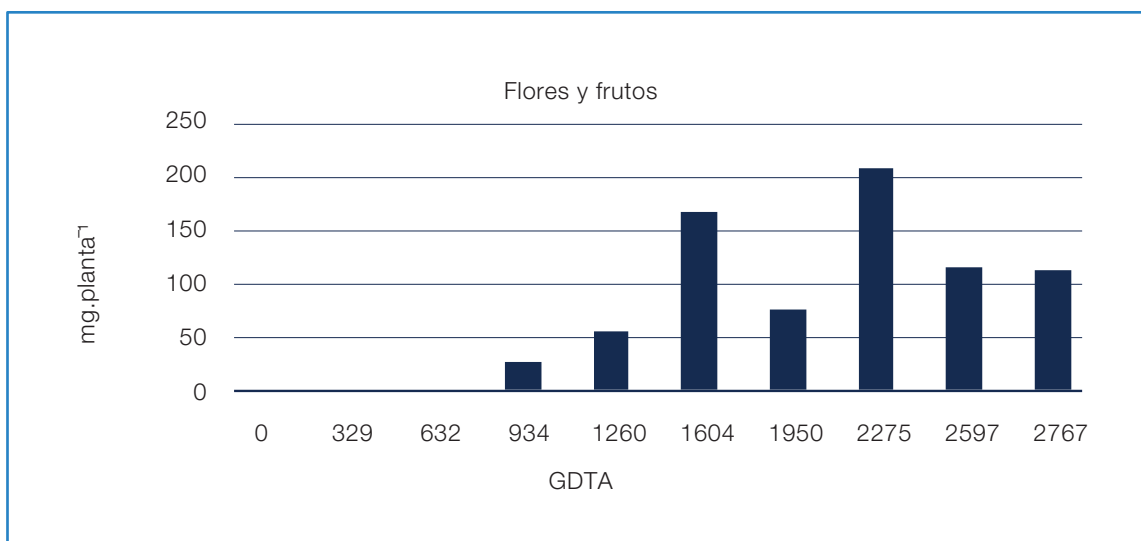


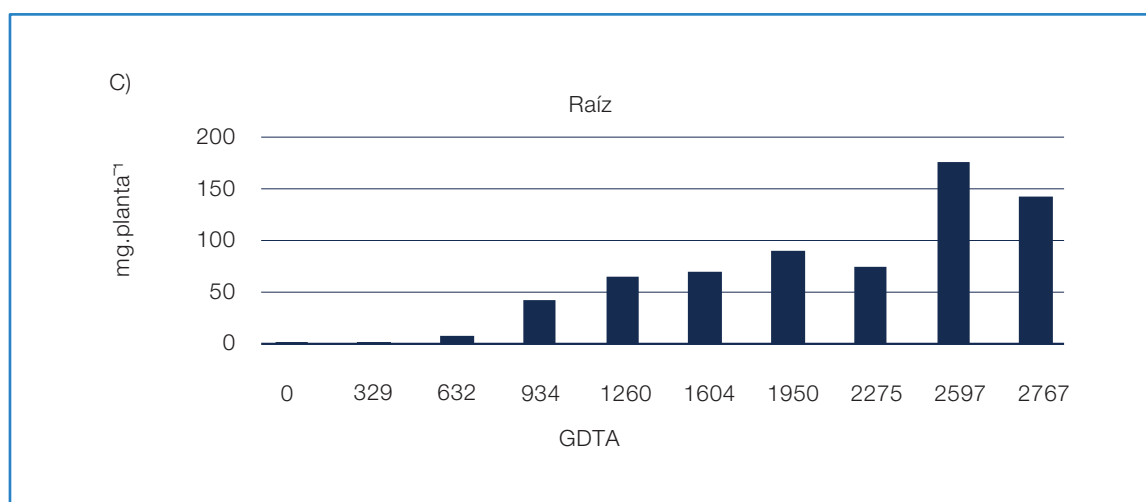
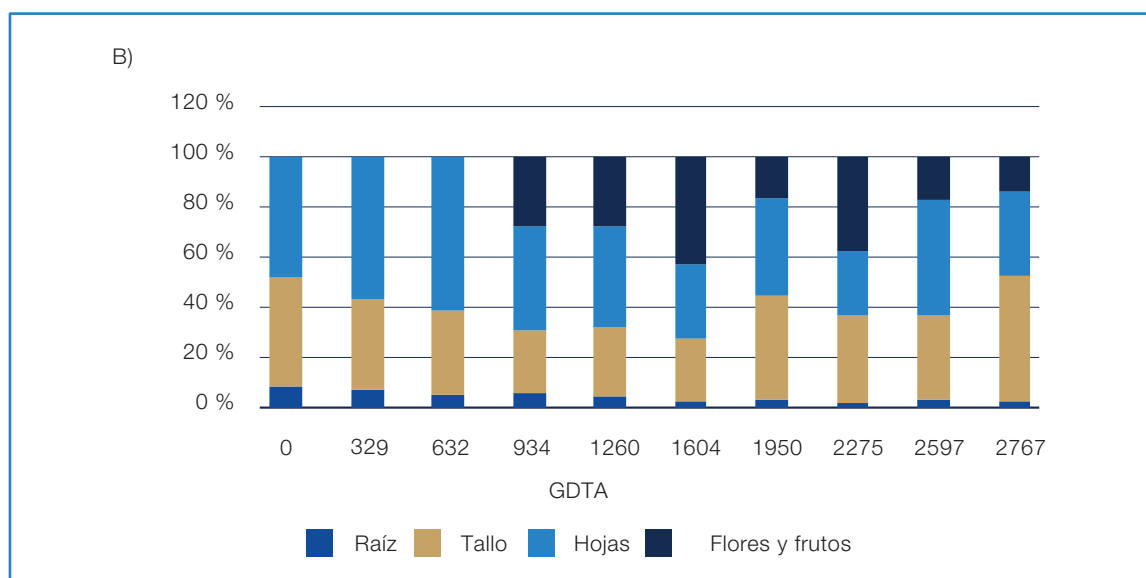
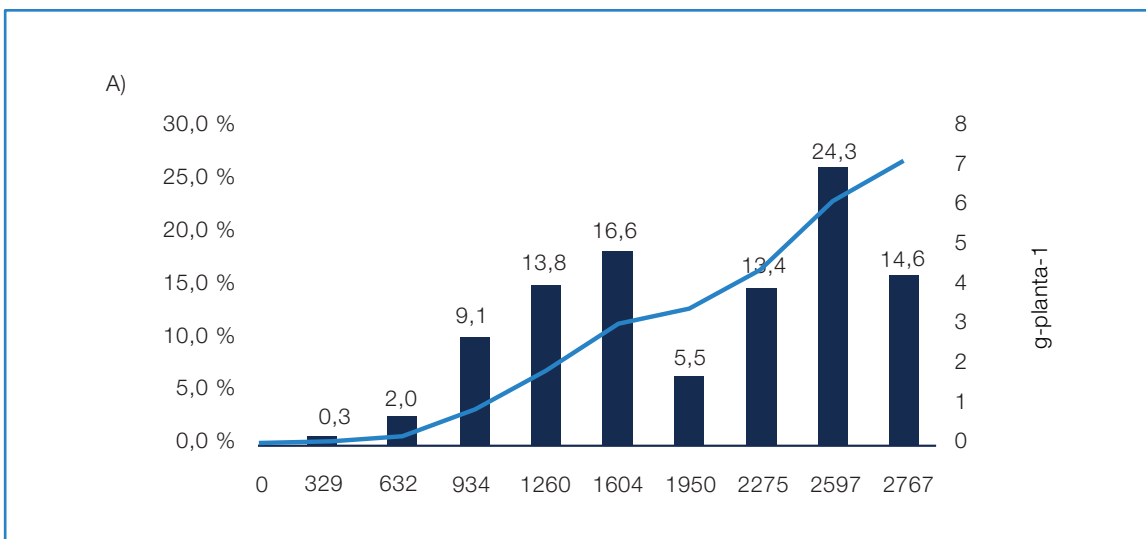
Figura 9. A) Porcentaje de absorción total e incremento de P. B) Distribución porcentual. C) Absorción de P por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

## Potasio (K)

La absorción de potasio posee un incremento constante hasta el final del ciclo del cultivo inclusive. El momento de máxima absorción ocurrió a los 2767 GDTA con 6,73 g.planta<sup>-1</sup>. La etapa de cosecha (1604-2767 GDTA) requirió la mayor cantidad de potasio del total con un 57,8 % seguido de la etapa reproductiva con un 39,7 %, mientras que de 0 - 632 GDTA requiere menos de un 3 % del total (Figura 10). El K fue el nutriente extraído en mayor cantidad, debido a los procesos de formación y crecimiento de frutos, los cuales constituyen el principal órgano de demanda en picos de cosecha respecto al total extraído por la planta (Bugarín et al. 2002).

El órgano que más acumuló potasio fue el tallo a los 2767 GDTA con 3401 mg.planta<sup>-1</sup>, sin embargo, las hojas fueron el segundo órgano más acumulador, poseen la mayor proporción durante el ciclo del cultivo con respecto a los demás órganos y translocan este elemento a los frutos (momentos de máxima acumulación y mayor proporción con 43 y 37 % a los 1604 y 2275 GDTA respectivamente). En el caso de la raíz su mayor proporción fue en la etapa de establecimiento y crecimiento vegetativo con valores entre 5-8 %, con una máxima acumulación 2597 GDTA. Resultados similares encontraron Terbe et al. (2006), quienes tuvieron los mayores valores de potasio en el tallo, seguido del fruto, las hojas y raíces con un rango de fluctuación en cada órgano más alto en comparación con nitrógeno y fósforo.





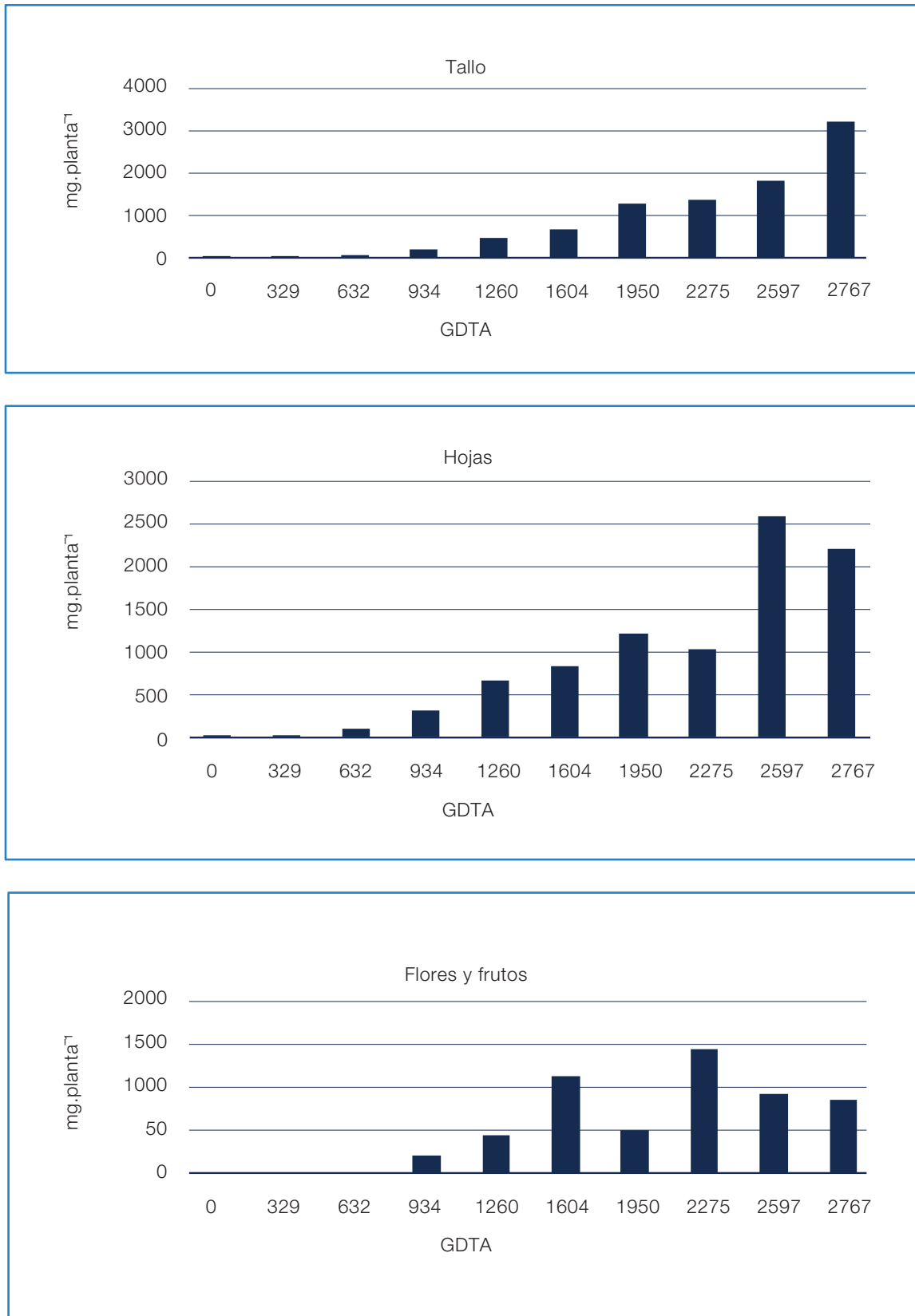


Figura 10. A) Porcentaje de absorción total e incremento de K. B) Distribución porcentual. C) Absorción de K por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

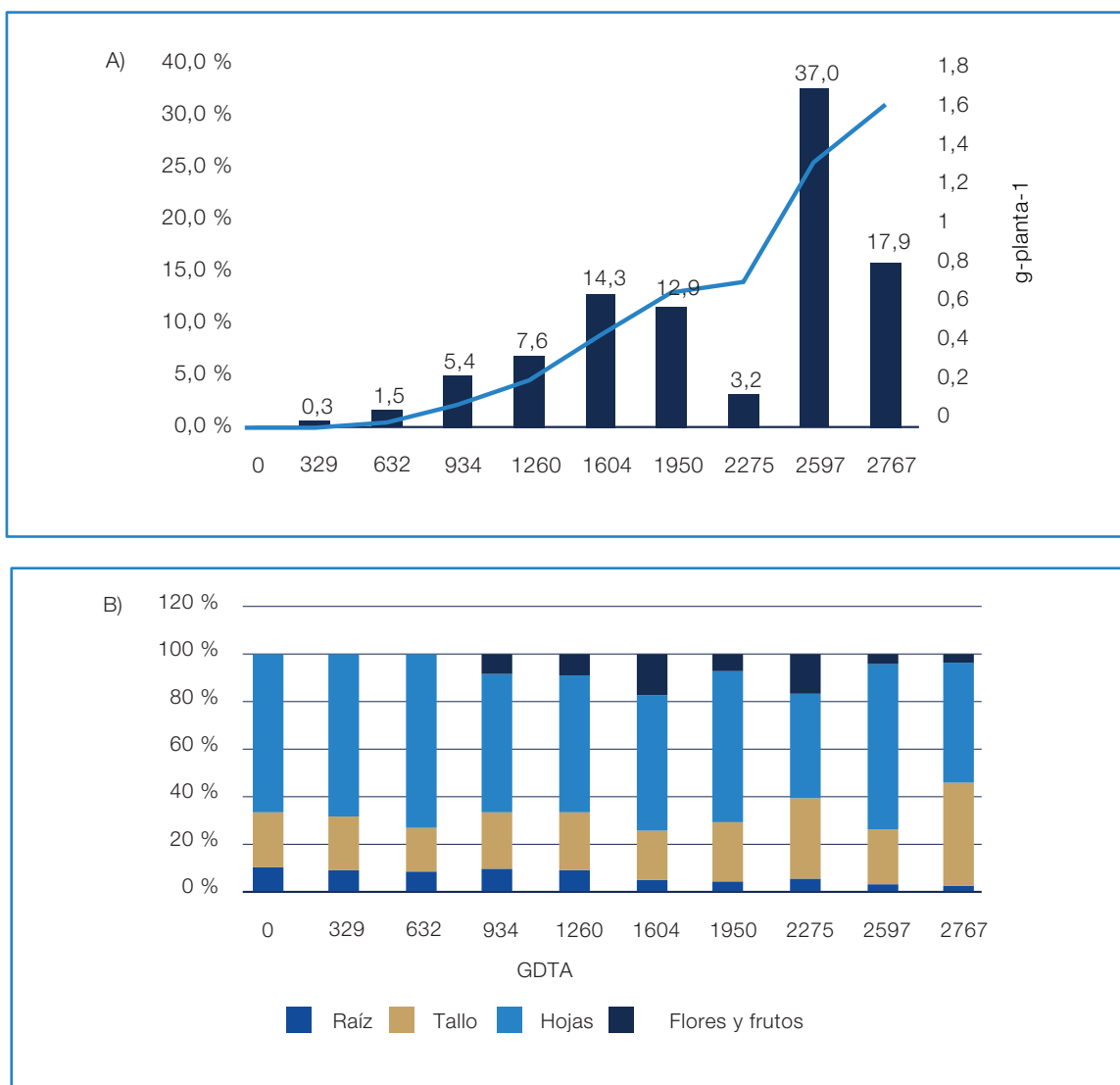
## Calcio (Ca)

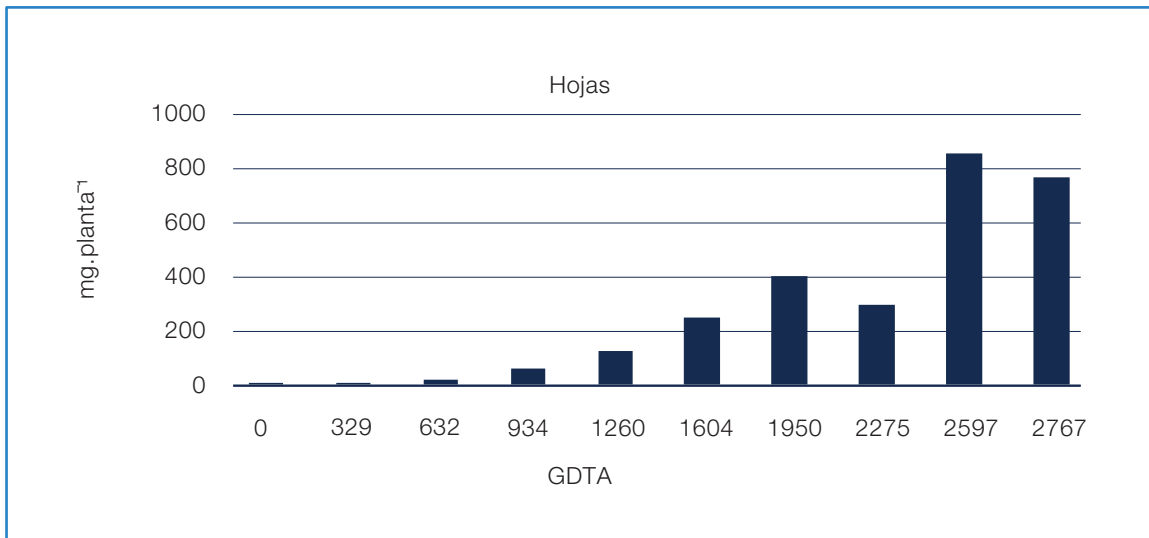
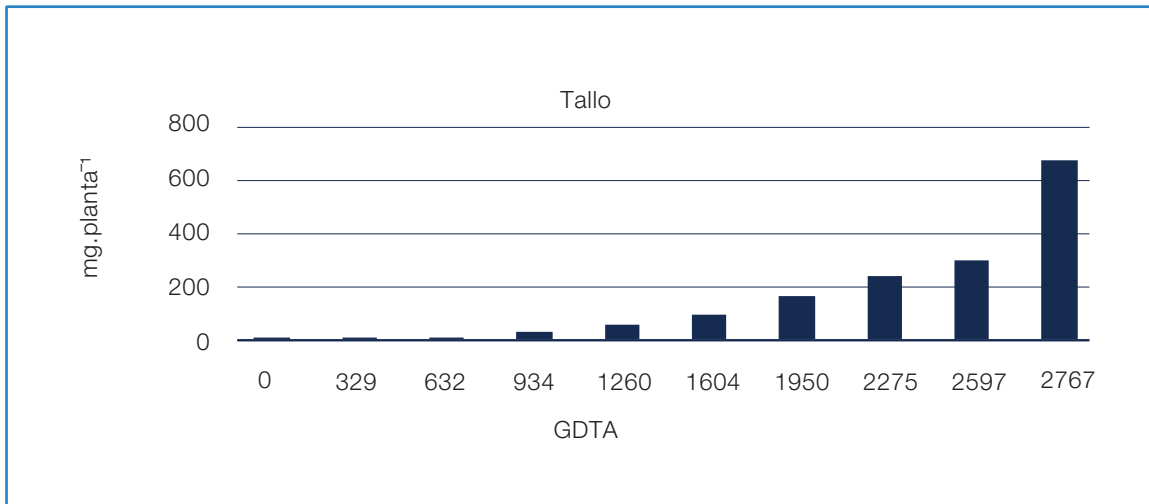
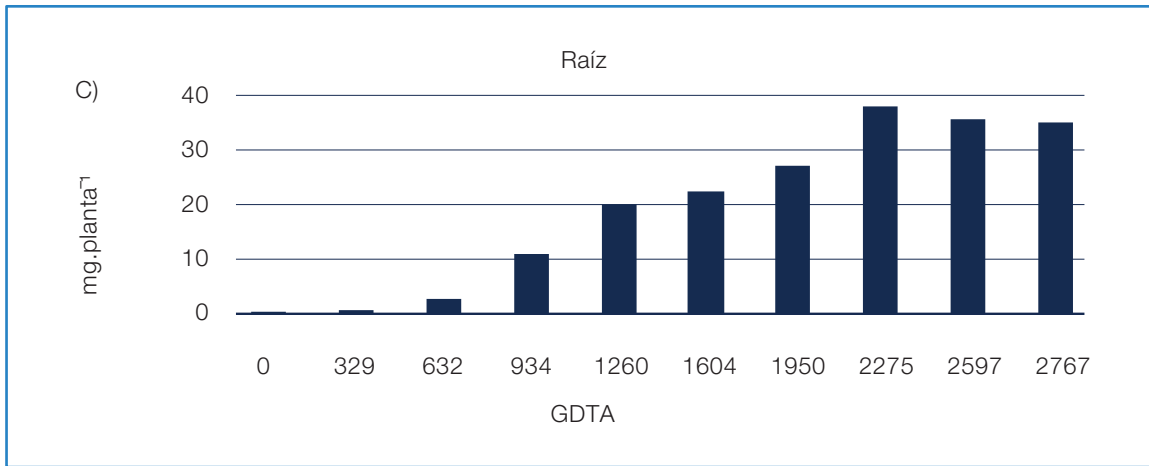
La absorción total de calcio fue de 1,6 g.planta<sup>-1</sup> y fue el tercer elemento de mayor demanda en la planta de chile dulce. El calcio es poco móvil y su concentración se incrementó gradualmente durante las fases del cultivo, debido a que participa en proporcionar estabilidad estructural a las paredes y membranas celulares (White y Broadley, 2003). El mayor incremento se logró en la etapa de cosecha entre los 2275 y 2597 GDTA con un 37 % (Figura 11). Cruz et al. 2014, también reportaron esta tendencia ascendente de Ca en el crecimiento de plantas de chile dulce.

En adición, la figura 11 muestra que las hojas fue el órgano de mayor absorción y alcanzó el mayor valor a los 2597 GDTA con 916 mg.planta<sup>-1</sup>, además representó entre un 51 y un 73 % de proporción de absorción de este elemento en

comparación con los demás tejidos de la planta. En la raíz y el tallo, la absorción tuvo un incremento constante a partir de los 632 GDTA y alcanzaron sus valores máximos a los 2275 y 2767 GDTA con 40 y 698 mg.planta<sup>-1</sup> respectivamente.

En el caso de las flores y frutos, los momentos de máxima absorción coinciden con los picos de cosecha con valores de 81 y 123 mg.planta<sup>-1</sup> a los 1604 y 2275 GDTA respectivamente y podría atribuirse a que participa en regular la absorción, además en el almacenamiento y firmeza de frutos (Alcántar y Trejo 2006). Asimismo, el rápido crecimiento, la integridad estructural de los tallos que contienen flores y frutos, así como la calidad de la fruta producida, está fuertemente ligada con la disponibilidad de calcio (Easterwood 2002).





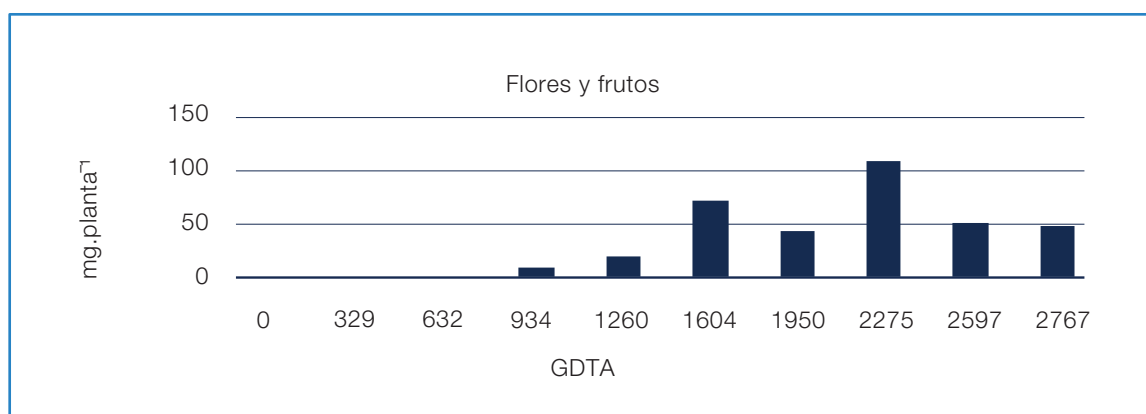
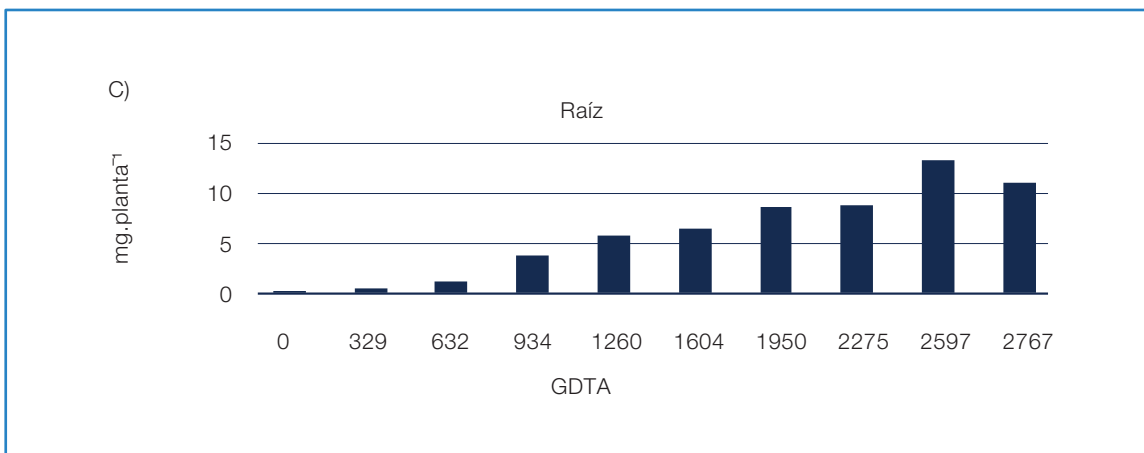
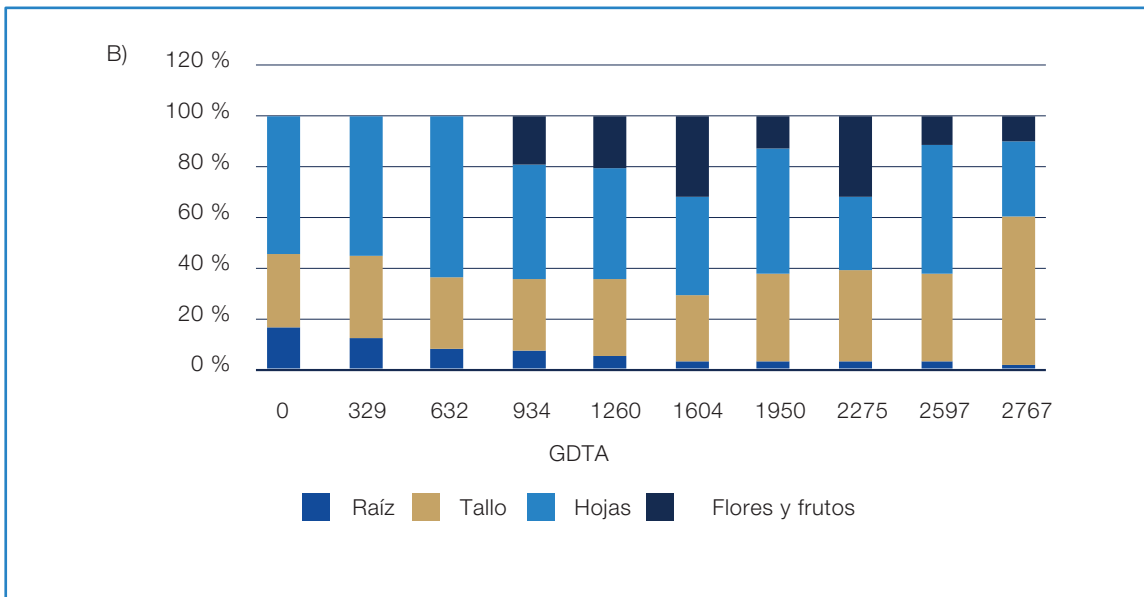
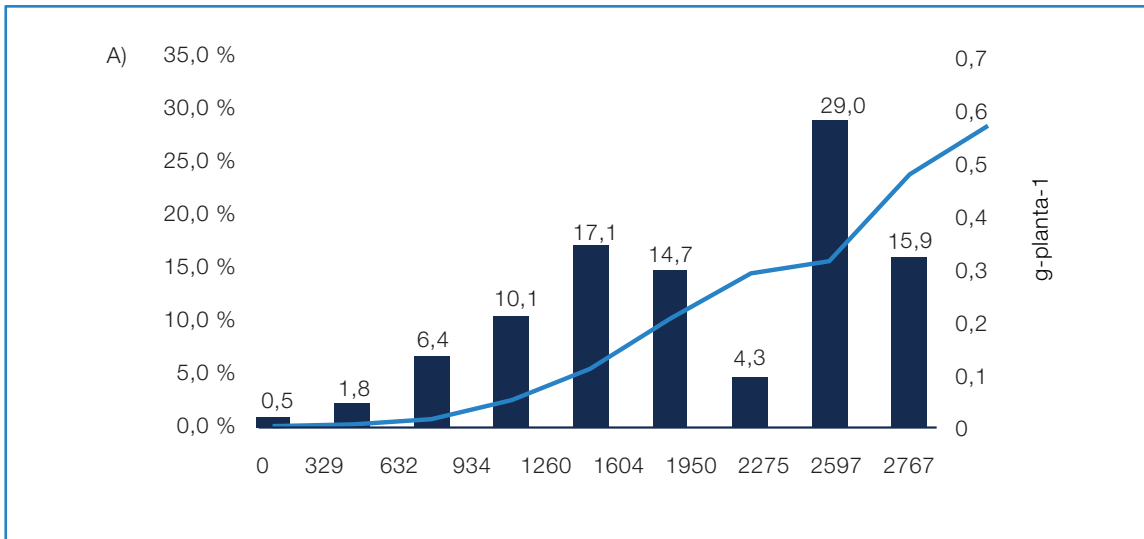


Figura 11. A) Porcentaje de absorción total e incremento de Ca. B) Distribución porcentual. C) Absorción de Ca por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

### Magnesio (Mg)

El magnesio es la base estructural de la molécula de clorofila y por ende esencial en el proceso de fotosíntesis y fijación de CO<sub>2</sub>, además promueve la transferencia, conversión y acumulación de la energía como la síntesis de carbohidratos y proteínas (Cakmak y Yazici, 2010). Durante los primeros 934 GDTA se observa en la figura 12, que la absorción de magnesio fue baja en comparación con las otras etapas del ciclo del cultivo ya que se obtuvo una acumulación de 0,05 g.planta<sup>-1</sup>, mientras que la máxima fue de 0,6 g.planta<sup>-1</sup> a los 2767 GDTA, es decir al final del ciclo productivo. La etapa de reproducción acumula cerca de un 35 % del total de absorción de magnesio, mientras que en etapas de cosecha se acumula cerca de un 64 %, lo que coincide con Azofeifa y Moreira (2005), quienes encontraron la mayor acumulación de Mg cerca del final del ciclo productivo (166 dds).

El tallo es el órgano que más acumuló magnesio con 342 mg.planta<sup>-1</sup> a los 2767 GDTA (final del ciclo); en el caso de las hojas (segundo órgano en acumulación), tuvo un incremento constante hasta los 1950 GDTA luego una disminución que coincidió con la mayor absorción de los frutos (101 mg.planta<sup>-1</sup>) para posteriormente volver a incrementar al valor máximo (247 mg.planta<sup>-1</sup>). Durante casi todo el ciclo fenológico, las hojas tuvieron la mayor acumulación de Mg a excepción a los 2767 GDTA, esto debido a que en este órgano se sintetiza gran cantidad de clorofila y otros pigmentos al cual está asociado el Mg (Taiz y Zeiger 2010). Por otra parte, la raíz tuvo un incremento constante desde las primeras etapas y alcanzó su valor máximo a los 2597 con 13,5 mg.planta<sup>-1</sup>.



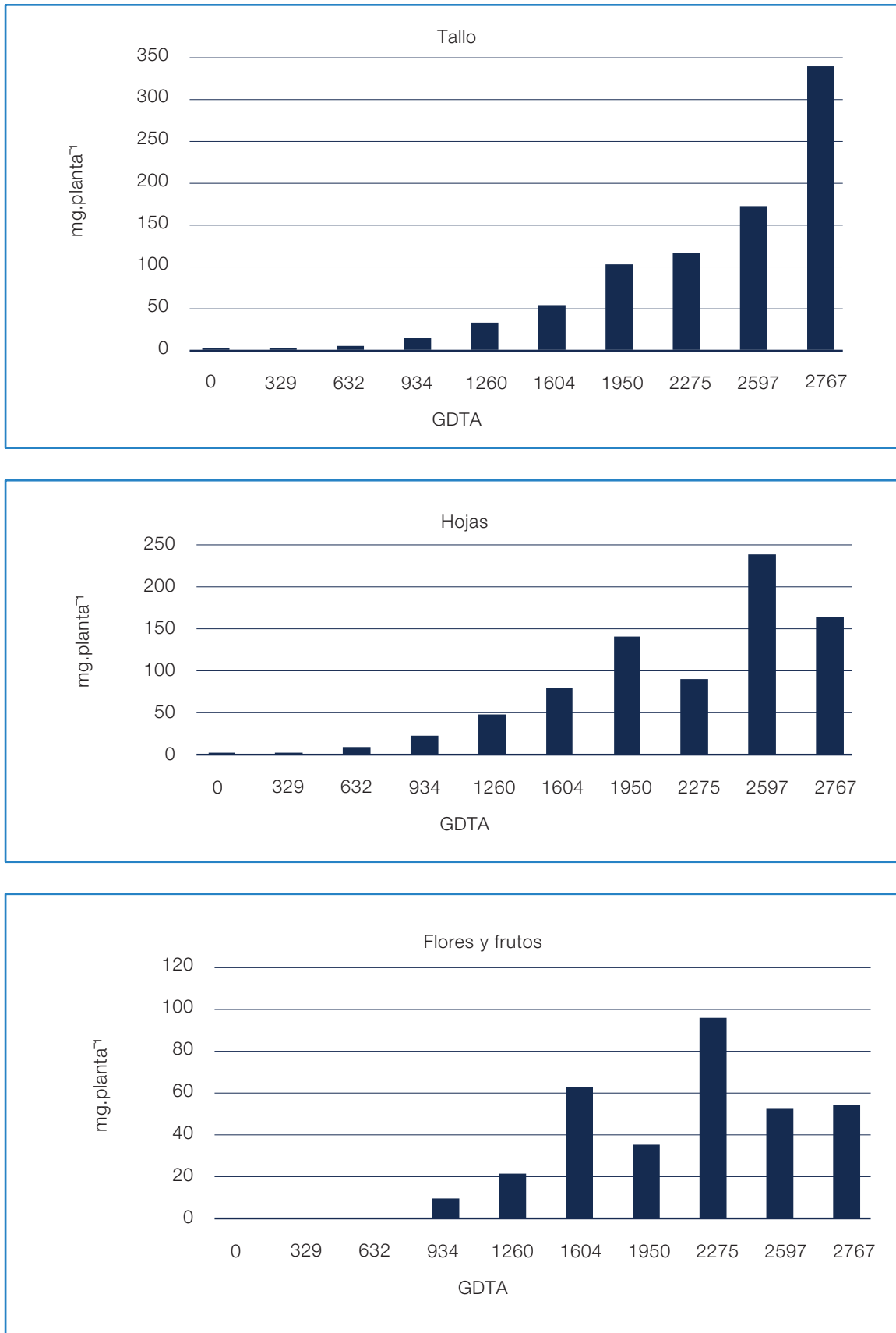


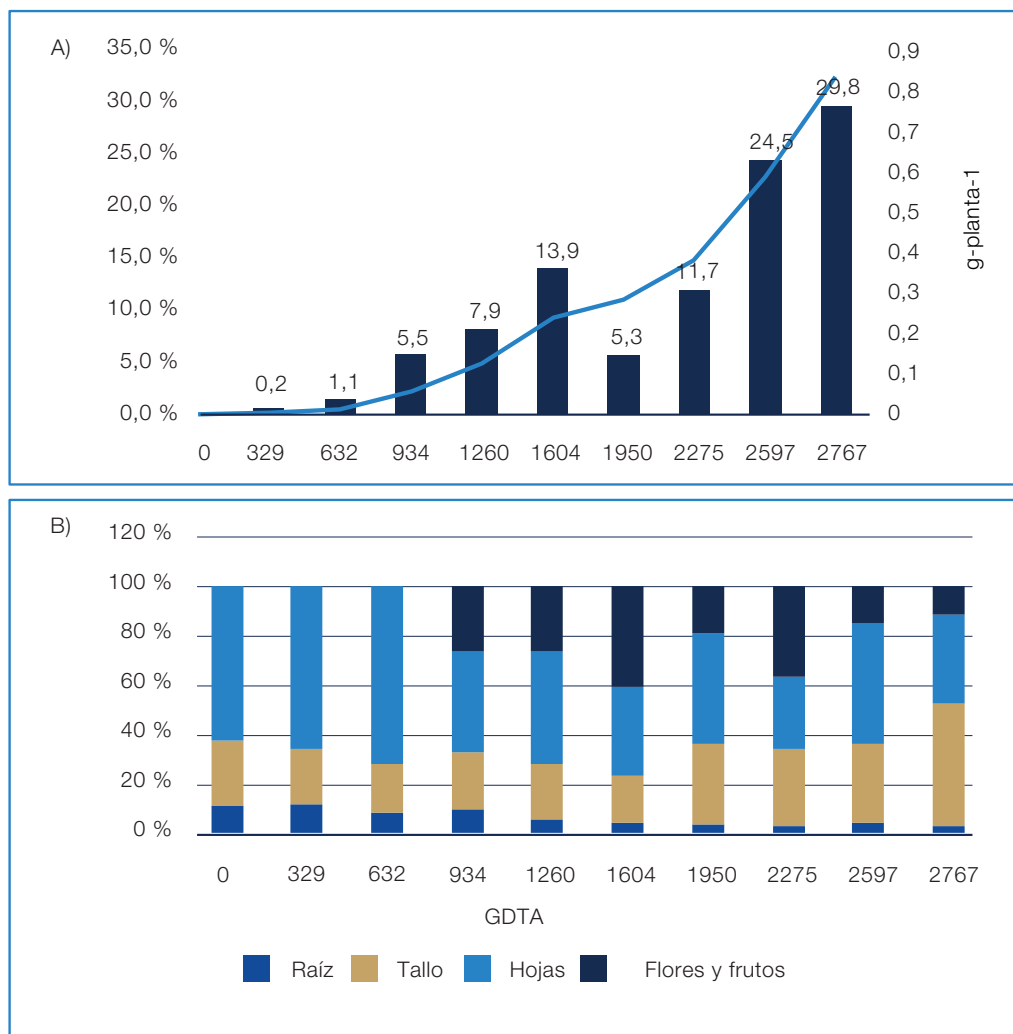
Figura 12. A) Porcentaje de absorción total e incremento de Mg. B) Distribución porcentual. C) Absorción de Mg por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

## Azufre

La absorción de azufre tuvo un incremento constante hasta el final del ciclo del cultivo inclusive. El momento de máxima absorción ocurrió a los 2767 GDTA con  $0,85 \text{ g.planta}^{-1}$  (Figura 13). Desde la etapa de establecimiento hasta reproducción (0-1604 GDTA) se requirió cerca de un 30 % del total de absorción de S en la planta, mientras que la etapa de cosecha (1604 - 2767 GDTA), es la de mayor requerimiento con un 70 %, y coincide con Azofeifa y Moreira (2005) quienes determinaron niveles importantes de absorción al final del ciclo de la planta.

El órgano de la planta más demandante en azufre es el tallo, alcanzando un valor de  $424 \text{ mg.planta}^{-1}$  al final del ciclo del cultivo. De la misma manera se comportaron las hojas y las raíces, donde su máxima absorción se alcanzó al final del ciclo con 301 y 26  $\text{mg.planta}^{-1}$ .

Las hojas con un rango entre 41 a 72 % del total de la planta representó la mayor proporción de absorción, a excepción del máximo del tallo al final del ciclo, y las flores y frutos a los 1604 y 2275 GDTA con valores de absorción 99 y 143  $\text{mg.planta}^{-1}$  que representaron un 41 y 37 % respectivamente en comparación con los demás órganos. Durante el constante crecimiento vegetativo del cultivo, se requiere mayor cantidad de azufre, debido a que participan en múltiples procesos biológicos como la fotosíntesis, la generación de energía, el metabolismo y las reacciones; el S es constituyente de hormonas, vitaminas y ciertos aminoácidos los cuales hacen parte de los bloques donde se forman las proteínas (Narayan *et al.*, 2022; Jiménez 2017).





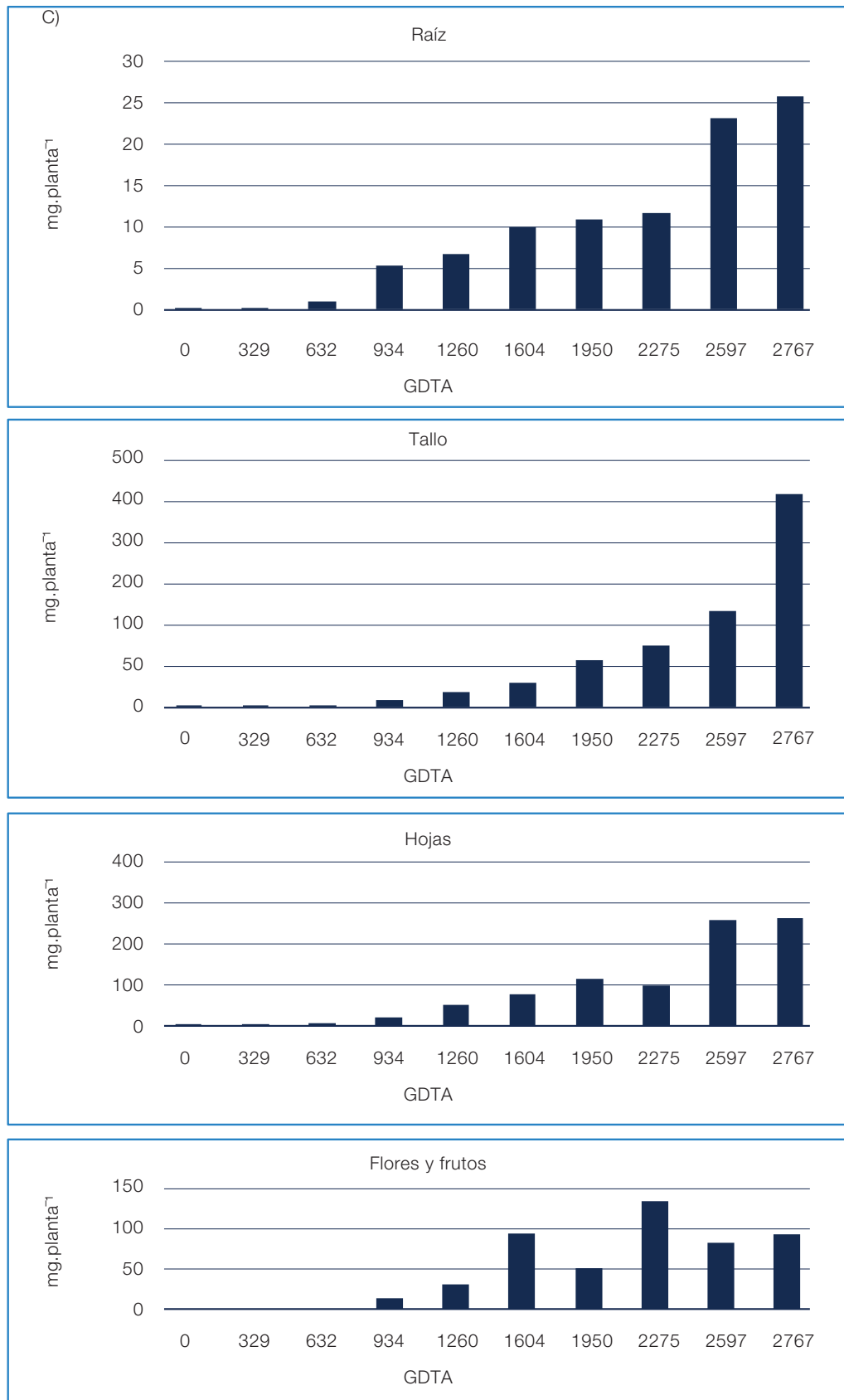


Figura 13. A) Porcentaje de absorción total e incremento de S. B) Distribución porcentual. C) Absorción de S por órgano de la planta de chile dulce, Cañas, Guanacaste, 2021.

## Acumulación de nutrientes

En el cuadro 4 se presentan los valores de absorción total de cada nutrimento durante el ciclo de crecimiento de las plantas. La absorción de K fue de 6,74 g.planta<sup>-1</sup>, equivalente a 168 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Luego en orden decreciente, le siguieron el N con 4,31, el Ca con 1,61, el S con 0,85, el Mg con 0,58 y el P con 0,38 g.planta<sup>-1</sup> respectivamente, que equivalen a 90, 47, 53, 20 y 18 kg.ha<sup>-1</sup> de N, CaO, SO<sub>4</sub>, MgO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente.

Cuadro 4. Absorción de nutrimentos (g.planta<sup>-1</sup>) en plantas de chile dulce durante su ciclo de crecimiento, Cañas, Guanacaste, 2021.

GDTA	DDT	N	P	K	Ca	Mg	S
0	0	0,004	0,001	0,009	0,001	0,001	0,001
329	15	0,022	0,002	0,027	0,005	0,004	0,002
632	30	0,150	0,011	0,163	0,029	0,015	0,011
934	45	0,565	0,062	0,777	0,115	0,051	0,058
1260	60	0,793	0,127	1,705	0,237	0,110	0,125
1604	75	2,092	0,269	2,838	0,467	0,209	0,244
1950	90	3,015	0,220	3,212	0,674	0,295	0,289
2275	105	2,915	0,388	4,118	0,726	0,320	0,389
2597	120	4,305	0,313	5,752	1,321	0,488	0,598
2767	135	3,366	0,354	6,737	1,609	0,580	0,851
<b>Total</b>		4,305	0,388	6,737	1,609	0,580	0,851

Las mayores tasas absolutas de extracción de N y P ocurrieron a los 2597 y 2275 GDTA respectivamente y para K, Ca, Mg y S a los 2767 GDTA (Cuadro 4), momento en que la planta se encontraba en plena fructificación, lo que indica que los frutos constituyen una importante demanda de nutrimentos. En general, los niveles de absorción de nutrientes para el chile dulce Polaris (Cuadro

5) fueron similares a los encontrados por Terbe et al. (2006) quienes indicaron requerimientos nutricionales con índices de 4 - 5,7 kg de K y 2,4 - 3,8 Kg de N por tonelada de frutos cosechados. No obstante, difieren con los obtenidos por Valentín et al. (2013) quienes en chile dulce reportaron índices (kg.t<sup>-1</sup>) de: 7,7 de N, 0,5 de P, 7,5 de K, 1,6 de Ca y 0,6 de Mg.

Cuadro 5. Extracción de macronutrientes en el cultivo de chile dulce híbrido Polaris, Cañas, Guanacaste, 2021.

Concepto	N	P	K	Ca	Mg	S
Extracción total Kg.ha <sup>-1</sup>	90	8	140	33	12	18
Extracción comercial (Kg.ha <sup>-1</sup> )	27	5	32	3	2	3
Índice de extracción nutrimental (kg.t <sup>-1</sup> )	2,9	0,3	4,5	1,1	0,4	0,6

## CONCLUSIONES

Las etapas de reproducción y cosecha presentaron la mayor demanda de grados días (GDTA) con un 35 y 42 %, coincidiendo con el mayor desarrollo de biomasa seca y de extracción de N, P, K, Ca, Mg y S, lo que indica que las flores y frutos constituyen una importante fuente de sumideros de fotoasimilados.

El cultivar de chile dulce Polaris requirió de un total de 2767 GDTA para completar el ciclo

fenológico, acumulando mayoritariamente los elementos de N, Ca, Mg y S en las hojas y el tallo, mientras que el P en los frutos.

La tendencia de absorción de los elementos muestreados en los órganos de la planta de chile dulce fue similar con los autores encontrados en la literatura, pero presentó diferencias en los GDTA, mostrando una reducción en el tiempo para alcanzar cada etapa fenológica.

## LITERATURA CITADA

Alcántar, G y Trejo, T. 2006. Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa. 462 p.

Almanza, P; Tovar, Y; Velandia, J. 2016. Comportamiento de la biomasa y de las tasas de crecimiento de dos variedades de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Pachavita, Boyacá. Revista Ciencia y Agricultura Vol. 13 (1) pp. 67-76, Boyacá, Colombia.

Amira, M; Amal, M; Ghoname, A. 2017. Growth, yield and nutritional quality of sweet pepper plants as affected by potassium and phosphate fertilizers varying in source and solubility. *Current Science International*, vol (6): 445-457.

Ayala; M. 2012. Análisis del Crecimiento y Calidad de Semilla de Tres Tipos de Chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis como requisito para el grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texoco, México. 41 p.

Azofeifa, A; Moreira M. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica *Agronomía Costarricense*. 29: 77-84.

Barker, A y Bryson, G. 2007 *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Barrera, J; Suárez, D; Melgarejo, L. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 25-39.

Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Instituto de la Potasa y el fósforo. *Informaciones agronómicas* N°57.

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

Bolaños, R; Watson, V; Tosi, J. 2005. Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge), Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.

Bugarín, M. R.; Galvis, S. A.; Sánchez, G. P. y García, P. D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra*. 20: 391-399.

Cakmak, I. Yazici, A. 2010. Magnesium: Forgotten elements in Crop Production. *Better Crops* 94(2):23-25.

Camacho, G. 2017. Evaluación económica para la producción del híbrido de chile dulce (*Capsicum annuum*) "Dulcítico" en invernadero mediante el enfoque de presupuestos parciales, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Economía Agrícola. Universidad de Costa Rica. p 163.

- Carrillo, K. 2016. Tesis: Efecto de la densidad de siembra y el tipo de poda de formación, sobre el rendimiento productivo y la calidad de frutos de chile dulce (*Capsicum annum* L.) tipo "Bell" bajo ambiente protegido en Cañas, Guanacaste. Pp. 12-52.
- Casierra, F; Cardozo, M; Cárdenas, J. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25(2): 299-305.
- Casilimas, H. Monsalve, O. Bojacá, C. Gil, R. Villagrán, E. Arias, L. Stella, L. 2012. Manual de Producción de Pimentón Bajo Invernadero. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 32, 48-49
- Cross, R. H., McKay, S. A. B., Mchughen, A. G., and Bonham-Smith, P. C. 2003. "Heat Stress Effects on Reproduction and Seed Set in *Linum usitatissimum* L. (Flax)." *Plant Cell Envir.* 26 (7): 1013-20.
- Cruz, C; Can, Ch; Bugarín, M; Pineda, P; Flores, C; Juárez, L; Alejo, S. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 289-295.
- Easterwood, G. 2002. Calcium's role in plant nutrition. *Fluid journal*, Tampa, Florida.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Production quantities of Chillies and peppers, green by country. En línea. Consultado el 15 de febrero del 2020. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- Fontes P; Dias E; Graça R. 2005 Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. *Horticultura Brasileira*; 23: 275-280.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. Elsevier Ltd. *Encyclopedia of applied plant sciences* 2ed, vol 1. London: Academic Press, 2003; 1618 p.
- Jiménez, F. 2017. La importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. International Plant Nutrition Institute, *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, IAH (26):1-5.
- Maynard, D; Hochmuth G. 2007. *Knott's Handbook for Vegetable Growers*. Fifth edition. University of Florida. p 630.
- Mengel, K; Kirkby, E. A; Kosegarten, H; Appel, T. 2001. *Principles of plant nutrition*. 5th (Ed.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 635 p.
- Narayan, O; Kumar, P; Yadav, B; Dua, M; Johri, A. 2022. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*. DOI: 10.1080/15592324.2022.2030082
- Noronha, MF; Villas, BR; Grava, GL; Goto, R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*61(1): 62-68.
- RAMÍREZ, R. 2021. Tesis: Evaluación del efecto del ambiente generado en 4 sistemas productivos sobre el rendimiento productivo y adaptabilidad de 4 cultivos de chile dulce tipo Bell. Pp 15 – 88.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2018. Adaptabilidad de cultivos de chile dulce bajo invernadero. *Revista Alcances Tecnológicos*. 12(1):13-23. 2018. ISSN-1659-0538. 14 p.
- Salazar, F; Juárez, P. 2013. Requerimiento Macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annum* L.). *Revista Bio Ciencias* 2(2): 27-34.
- Salisbury, F; Ross, C. 2000. *Fisiología de las plantas*. Thomson Editores Spain, Paraninfo S.A., Madrid.
- Segura, M. y Contreras, J. 2015. Fertilización Adaptada a las Necesidades del Cultivo: Curvas de Absorción de Nutrientes. *Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*. 1-12 p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial). 2016. Área y producción agrícola. *Boletín Estadístico N° 27*. San José, Costa Rica. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). Consultado el 21 de enero de 2021. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA27.pdf>
- Sonneveld C y Voogt W. 2009. *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer, Netherlands. 431 p.
- Taiz, L; Zeiger, E; Moller, I; Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development*. 6<sup>th</sup> ed, Sinauer Associates, Incorporated.
- Taiz, L. and Zeiger E. 2010. *Plant Physiology*. Fifth Edition. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA. 782 p.

Terbe, I; Szabó, ZS; Kappel, N. 2006. Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production Technologies. *International Journal of Horticultural Science* 12: 13–19.

Thuy, T; Murakami, K. 2015. Effect of High Temperature on Fruit Productivity and Seed-Set of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) in the Field Condition. *Journal of agricultural science technology*, vol 5.

Valentín, M; Castro, B; Rodríguez, P; Pérez, G. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19:71-78.

White, P y Broadley, M. 2003. Calcium in plants *Annals. Of Botany*, 92:487 511.

Yasuor, H; Ben-Gal, A; Yermiyahu, U; Beit-Yannai, E; Cohen, S. 2013. Nitrogen Management of Greenhouse Pepper Production: Agronomic, Nutritional, and Environmental Implications. *American Society for Horticultural Science*, Vol 48 (10):1-9.

Yzarra, W; Trebejo, I; Noriega, V.2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* (1):1-10.