



Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Producción Vegetal



Dinámica de la absorción de macronutrientes, producción de materia seca y evolución de los componentes del rendimiento y la calidad en dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en tres suelos del Norte de la Provincia de Corrientes

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de MAGISTER EN PRODUCCIÓN VEGETAL de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.

Tesista:

Ing. Agr. Javier de Jesús Bertollo

Director: Ing. Agr. (Dr.) Ricardo Daniel Medina

Co-director: Ing. Agr. (Mgt.) Federico Antonio Paredes

Corrientes, Argentina

Año: 2019

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS	III
LISTADO DE FIGURAS	IV
LISTADO DE TABLAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XI
AGRADECIMIENTOS	XII
Capítulo I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Aspectos económicos a nivel global, nacional y regional	2
I.2 Clasificación botánica, origen y difusión del cultivo de mandioca	5
I.3 Descripción morfológica de la planta	6
I.4 Fases fenológicas del cultivo	7
I.5 Planteo del problema	8
I.6 Hipótesis	9
I.7 Objetivos	9
I.7.1 Objetivo general	9
I.7.2 Objetivos específicos	9
Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS	10
II.1 Ubicación geográfica de los sitios y momento de realización del estudio	11
II.2 Caracterización edáfica de los sitios	12
II.3 Caracterización climática de la región	13
II.4 Material vegetal	13
II.5 Conducción del ensayo	15
II.5.1 Diseño Experimental y tratamientos	15
II.5.2 Unidad experimental	16
II.5.3 Manejo del cultivo	16
II.5.4 Muestreos y determinaciones	19

II.5.5 Variables evaluadas	20
II.5.6 Análisis estadísticos	21
Capítulo III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
III.1 Oferta ambiental	23
III.1.1 Condiciones meteorológicas	23
III.1.2 Condiciones edáficas	28
III.2 Biomasa	29
III.2.1 Producción de biomasa	29
III.2.2 Partición de biomasa	35
III.3 Componentes del rendimiento	42
III.3.1 Número de raíces tuberosas por planta	42
III.3.2 Peso fresco y seco de raíces tuberosas por planta y rendimiento de raíces tuberosas por hectárea	43
III.3.3 Índice de cosecha	44
III.3.4 Contenido de almidón	45
III.3.5 Relaciones entre variables del cultivo	46
III.4 Absorción de macronutrientes	47
III.4.1 Dinámica de la absorción y partición de macronutrientes	47
III.5 Extracción y exportación de macronutrientes	76
III.5.1 Extracción total de macronutrientes	76
III.5.2 Exportación de macronutrientes en raíces tuberosas	77
III.5.3 Exportación de macronutrientes por tonelada de raíces tuberosas	78
Capítulo IV. CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	82

ABREVIATURAS

RS: cultivar Rama seda

PA: cultivar Palomita

DDP: días después de la plantación

PS Planta: peso seco o biomasa seca de planta entera

PS Tallos: peso seco de tallos

PS Pecíolos: peso seco de pecíolos

PS Láminas: peso seco de láminas foliares

PS Aéreo: peso seco de la fracción aérea

NRT: número de raíces tuberosas

PFRT: peso fresco de raíces tuberosas

PSRT: peso seco de raíces tuberosas

PFRTi: peso fresco de raíces tuberosas individuales

PSRTi: peso seco de raíces tuberosas individuales

IC: índice de cosecha

% Almidón: porcentaje de almidón en raíces tuberosas

RT: raíces tuberosas

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial promedio de mandioca (*Manihot esculenta*) entre el período 1970-2013 (FAOSTAT, 2015).

Figura 2. Superficie cultivada promedio de mandioca (*Manihot esculenta*) a nivel mundial entre el período 1970-2013 (FAOSTAT, 2015).

Figura 3. Rendimientos promedios de mandioca (*Manihot esculenta*) de algunos países en 2013 (FAOSTAT, 2015).

Figura 4. Principales países productores de mandioca (*Manihot esculenta*) en América Latina y el Caribe en 2013 (FAOSTAT, 2015).

Figura 5. Ubicación geográfica de los sitios donde se implantaron los ensayos: Serie Treviño perteneciente a los Albardones del Río Paraná (27°40'44.8"S; 58°46'03.4"W); Serie Ensenada Grande en Lomadas y planicies arenosas del noroeste (27°29'27.3"S; 58°45'37.3"W) y Serie Loreto en Lomadas arenosas rojizas (27°51'52.0"S; 57°22'51.8"W).

Figura 6. Planta de mandioca (*Manihot esculenta*) cultivar Rama Seda. Planta cultivada en el campo (a), planta completa (b) y tipo de ramificación (c).

Figura 7. Planta de mandioca (*Manihot esculenta*) cultivar Palomita. Planta cultivada en el campo (a), planta completa (b) y tipo de ramificación (c).

Figura 8. Representación esquemática del arreglo espacial de la unidad experimental.

Figura 9. Cultivo de cobertura de avena negra (*Avena strigosa* Schreb.) sembrada para control de malezas y como cultivo antecesor común.

Figura 10. Preparación de suelo e incorporación de avena negra previa a la plantación en la serie Treviño.

Figura 11. Confección de lomos con azada para prevenir efectos de anegamiento en la serie Loreto.

Figura 12. Detalle del alomado para la plantación en la serie Ensenada Grande.

Figura 13. Confección de estacas-semillas de mandioca cv. Rama Seda.

Figura 14. Apertura de hoyos y plantación horizontal de estacas en la serie Treviño.

Figura 15. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm) y temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales (°C) registradas durante la campaña 2015-2016 en las series Loreto (a) Ensenada Grande (b) y Treviño (c).

Figura 16. Distribución de precipitaciones (mm) registradas durante la campaña 2015-2016 en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Las líneas de corte indican los momentos de muestreo.

Figura 17. Precipitaciones acumuladas en cada sitio de experimentación por momentos de observación. Campaña 2015-2016.

Figura 18. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm) y temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales (°C) registradas durante la campaña 2016-2017 en las series Loreto (a) Ensenada Grande (b) y Treviño (c).

Figura 19. Distribución de las precipitaciones (mm) registradas durante la campaña 2016-2017 en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Las líneas de corte indican los momentos de muestreo.

Figura 20. Precipitaciones acumuladas en cada sitio de experimentación por momentos de observación. Campaña 2016-2017.

Figura 21. Evolución de la biomasa (en base seca) en planta entera de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 22. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 23. Evolución de la biomasa (en base seca) en planta entera de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 24. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 25. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 26. Partición de biomasa (en base seca) en raíces, tallos, pecíolos y láminas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*), cv. Palomita (PA) y cv. Rama Seda (RS), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 27. Partición de biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (izquierda de línea de corte) y Rama Seda (derecha de línea de corte), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 28. Evolución de la biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 29. Partición de biomasa (en base seca) en raíces, tallos, pecíolos y láminas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (PA) y Rama Seda (RS), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 30. Partición de biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (izquierda de línea de corte) y Rama Seda (derecha de línea de corte). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 31. Evolución de la biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo

productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 32. Evolución del número de raíces tuberosas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda, en Corrientes (Argentina). Campañas 2015/2016 y 2016/2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 33. Peso de raíces tuberosas por planta (expresada en base fresca) de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda. Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Figura 34. Peso de raíces tuberosas por planta (expresada en base fresca) de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda, en tres series de suelo (Ensenada Grande, Loreto y Treviño) de Corrientes (Argentina).

Figura 35. Índice de cosecha de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*) en tres series de suelo (Ensenada Grande, Loreto y Treviño) de Corrientes (Argentina).

Figura 36. Partición del nitrógeno absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 37. Dinámica de la absorción de nitrógeno en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 38. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 39. Partición del fósforo absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 40. Dinámica de la absorción de fósforo en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 41. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 42. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 43. Partición del potasio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 44. Dinámica de la absorción de potasio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 45. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 46. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 47. Partición del calcio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 48. Dinámica de la absorción de calcio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 49. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 50. Partición del magnesio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 51. Dinámica de la absorción de magnesio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 52. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Figura 53. Partición del nitrógeno absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 54. Dinámica de la absorción de nitrógeno en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 55. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 56. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 57. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 58. Partición del fósforo absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 59. Dinámica de la absorción de fósforo en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 60. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 61. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 62. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 63. Partición del potasio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 64. Dinámica de la absorción de potasio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 65. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 66. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 67. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 68. Partición del calcio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 69. Dinámica de la absorción de calcio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 70. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 71. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 72. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 73. Partición del magnesio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 74. Dinámica de la absorción de magnesio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 75. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Figura 76. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Factores evaluados y tratamientos resultantes.

Tabla 2. Resultados de análisis fisicoquímicos correspondientes a las tres series de suelos estudiadas para las campañas 2015-2016 (arriba) y 2016-2017 (abajo).

Tabla 3. Componentes del rendimiento y la calidad de 2 cultivares de mandioca (Rama Seda y Palomita) implantados en tres series de suelos del norte de Corrientes (Argentina), a los 280 días después de plantación (DDP).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la biomasa seca de la planta (PS Planta), biomasa aérea (PS Aérea), de raíces tuberosas (PSRT), peso seco individual de raíces tuberosas (PSRTi) y el número de raíces tuberosas por planta (NRT) para dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*), Palomita y Rama Seda, a los 280 días después de plantación (DDP).

Tabla 5. Extracción total de macronutrientes (plantas completas, kg ha^{-1}) para los cvs. Palomita y Rama Seda, en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Tabla 6. Exportación de macronutrientes en raíces tuberosas cosechadas (kg ha^{-1}) para los cvs. Palomita y Rama Seda, y en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Tabla 7. Exportación de macronutrientes por tonelada de raíces tuberosas cosechadas para los cvs. Palomita y Rama Seda, y en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

RESUMEN

El cultivo de mandioca en el Nordeste argentino presenta una brecha entre rendimientos potenciales y actuales. Conocer la dinámica de producción de biomasa y de absorción de nutrientes en diferentes ambientes establecería las bases para estudios orientados a aumentar la productividad. Se evaluó producción y partición de biomasa; componentes del rendimiento y calidad; y dinámica de absorción de macronutrientes en los cvs. Rama Seda (RS) y Palomita (PA) en las series de suelo Treviño, Loreto y Ensenada Grande. Se muestrearon plantas a los 50, 100, 150, 210 y 280 DDP; se separaron en raíces, láminas, pecíolos y tallos, y se determinó su peso fresco y seco. Se calculó biomasa seca de la planta (PS Planta). Se calcularon tasas absolutas de producción de biomasa, índice de cosecha (IC) y partición de asimilados en órganos o sus fracciones. Fueron evaluados los componentes del rendimiento y contenido de almidón (calidad). Se determinó la acumulación de N, P, K, Ca y Mg en órganos y, se calcularon los nutrientes exportados por plantas, y por el total y por tonelada de raíces tuberosas. La biomasa seca de la planta (PS Planta) tuvo un patrón sigmoidal. La etapa inicial depende directamente de la calidad del material de propagación. PA fue el más precoz, con mayor eficiencia y plasticidad, acumulando anticipadamente biomasa en raíces tuberosas. El número de raíces tuberosas (NRT) fue superior en RS. Resultó ser una característica inherente al genotipo y la variable más influyente en el rendimiento. El máximo peso seco de raíces tuberosas (PSRT) se alcanzó a los 280 DDP, siendo superior en RS y el sitio Loreto. Treviño resultó marginal para la producción en condiciones de elevadas precipitaciones. La absorción de macronutrientes se relacionó con la PS Planta, con una dinámica similar para ambos cultivares. RS extrajo más nutrientes, dado su mayor PS Planta. K fue el nutriente más absorbido, con una tasa máxima entre 150 y 210 DDP y se relacionó con PSRT. La tasa máxima de absorción de N coincidió con la fase de crecimiento de tallos y hojas, con máxima acumulación en la fase de engrosamiento de raíces. El resto de los nutrientes, excepto Mg, tuvieron máxima acumulación a los 210 DDP. Ca, Mg y P mostraron variaciones entre campañas. En Loreto se extrajeron más macronutrientes, principalmente K y N. En general, la absorción de todos los macronutrientes disminuyó hacia el final del ciclo.

ABSTRACT

Cassava crop in Northeast of Argentina presents a gap between potential and current yields. Knowing biomass production and nutrient uptake dynamics in different environments would serve as a basis for studies aimed at increasing productivity. Biomass production and partition; yield and quality components and macronutrient uptake dynamics were evaluated in cvs. Rama Seda (RS) and Palomita (PA) in Treviño, Loreto and Ensenada Grande soil series. Plants were sampled at 50, 100, 150, 210 and 280 DDP. They separated into roots, sheets, petioles and stems, and their fresh and dry weight was determined. Dry plant biomass was calculated. Absolute biomass production rates, harvest index and biomass partition in organs or its fractions were calculated. Yield components and starch content were evaluated. N, P, K, Ca and Mg accumulation in organs was determined and, the nutrients exported by plants and by the total and per ton of tuberous roots were calculated. Dry plants dry biomass had a sigmoid pattern. The initial stage depends directly on the propagation material quality. PA was the earliest, with greater efficiency and plasticity, accumulating biomass in tuberous roots in advance. Tuberous roots number was higher in RS. It turned out to be an inherent genotype characteristic and the most influential variable in performance. The maximum dry tuberous roots weight was reached at 280 DDP, being higher in RS and in Loreto. Treviño was marginal for yield under high rainfall conditions. Macronutrients uptake was related to dry plant biomass, with a similar dynamic for both cultivars. RS extracted more nutrients, due its higher dry plant biomass. K was the most absorbed nutrient, with a maximum rate between 150 and 210 DDP, and was related to dry tuberous root weight. The maximum N uptake rate coincided with the phase of stems and leaves growth, with maximum accumulation in the root thickening phase. The other nutrients, except Mg, had maximum uptake at 210 DDP. Ca, Mg and P showed variations between years. In Loreto, more macronutrients were extracted, mainly K and N. In general, macronutrients uptake decreased towards the end of the cycle.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Ing. Agr. (Dr.) Ricardo Medina y co-director Ing. Agr. (Mgt.) Federico Paredes por guiarme durante la carrera de posgrado y en esta investigación; por sus consejos y predisposición para enseñarme y salvar todas las dudas que se fueron presentando.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por darme la posibilidad de realizar la carrera de Maestría y de perfeccionarme como profesional.

A mis compañeros de trabajo del grupo de Extensión y Experimentación para la Agricultura Familiar de la EEA INTA Corrientes, por su colaboración en el trabajo de campo, y en especial a Hugo Bogado, Antonio Mc Cargo, Marcos Talabera y Carlos Paiva, por cuidar de los ensayos desde siempre.

A las ingenieras agrónomas del Laboratorio de Suelos, Aguas y Vegetales de la EEA INTA Corrientes, Cristina Sanabria, Soledad Rey Montoya y Carla Grancic por su paciencia, colaboración y guía en los análisis realizados.

A mi familia porque siempre estuvieron presentes apoyando.

A María Inés por ser mi sostén, por sus consejos, paciencia y por darme siempre una palabra de aliento para que continúe hasta el final.

A mi hijo Julián, por venir al mundo a darme el empujón final para terminar.

A todos ellos, eternamente gracias.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I.1 Aspectos económicos a nivel global, nacional y regional

La mandioca (*Manihot esculenta*) ocupa un lugar importante como recurso alimenticio a nivel mundial, según El-Sharkawy (2003) siguiendo al arroz (*Oryza sativa* L.), el maíz (*Zea mays* L.) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en lo referente a la cantidad de calorías producidas y su utilización directa para el consumo humano (Hinojosa *et al.*, 1995; Cock, 1983; Henry y Hershey, 2002; Hillocks, 2002; Lenis *et al.* 2006).

Es considerada una planta de aprovechamiento integral, ya que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Sus raíces se utilizan en la alimentación humana y como complemento de concentrados en la dieta de animales, además de ser empleadas en la industria para gran variedad de productos (almidón, alcohol carburante, gomas, adhesivos, entre otros) (Cadavid, 2008).

Esto la hace una especie de gran valor socioeconómico para los agricultores familiares dado que, gracias a su tolerancia al estrés abiótico, puede ser cultivada en suelos marginales, de baja fertilidad, prácticamente sin la utilización de insumos (Mejía de Tafur, 2002).

Es cultivada en Asia, África y América Latina (Ceballos y De la Cruz, 2002). Según datos de la FAO para el 2013, el 50% de la producción mundial de mandioca, en millones de toneladas, estuvo concentrada en cinco países Nigeria (54), Tailandia (30,2), Indonesia (23,9), Brasil (21,2) y República del Congo (16,5) (UNCTAD, 2015). Ese año, el 57% de la producción mundial de mandioca se obtuvo en África y el 32% en Asia. América Latina aportó sólo alrededor del 10% de la producción mundial (Figura 1, FAOSTAT, 2015).



Figura 1. Producción mundial promedio de mandioca (*Manihot esculenta*) entre el período 1970-2013 (FAOSTAT, 2015).

Ese mismo año el área plantada mundial fue de 20,4 millones de hectáreas (Figura 2), de las cuales África representó el 67%, Asia el 20% y América Latina el 12%.

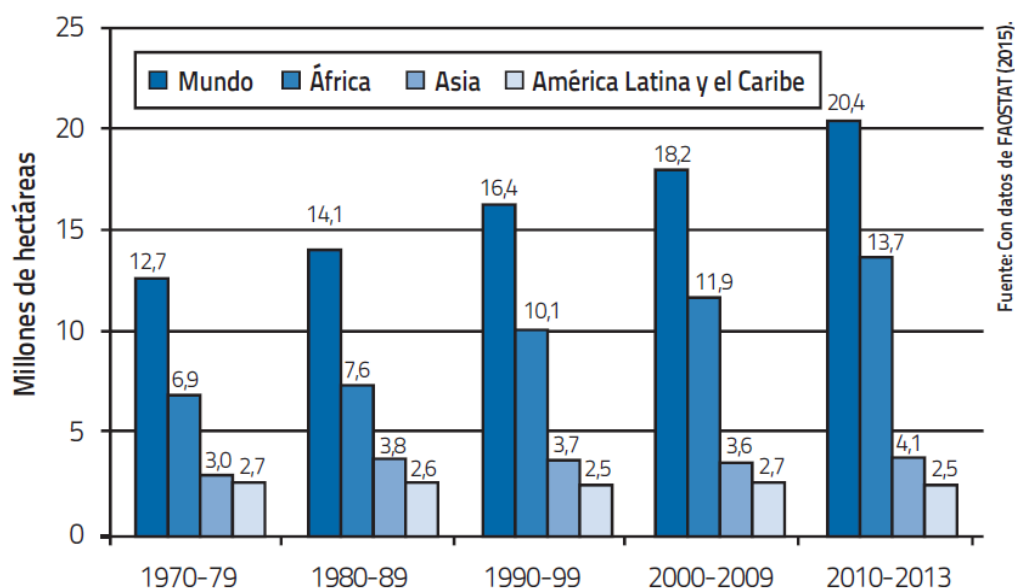


Figura 2. Superficie cultivada promedio de mandioca (*Manihot esculenta*) a nivel mundial entre el período 1970-2013 (FAOSTAT, 2015).

El país con mayor rendimiento promedio a nivel mundial fue India con $34,9 \text{ t ha}^{-1}$. En Asia, sobresalieron Camboya, Indonesia y Tailandia con un rendimiento promedio aproximado de 22 t ha^{-1} . En África, los mayores rendimientos promedio fueron para Angola y Nigeria con 14 t ha^{-1} . En América Latina, los mayores rendimientos se registraron en Paraguay (16 t ha^{-1}) y Brasil (14 t ha^{-1}), mientras que en Argentina el promedio fue de $9,9 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 3).

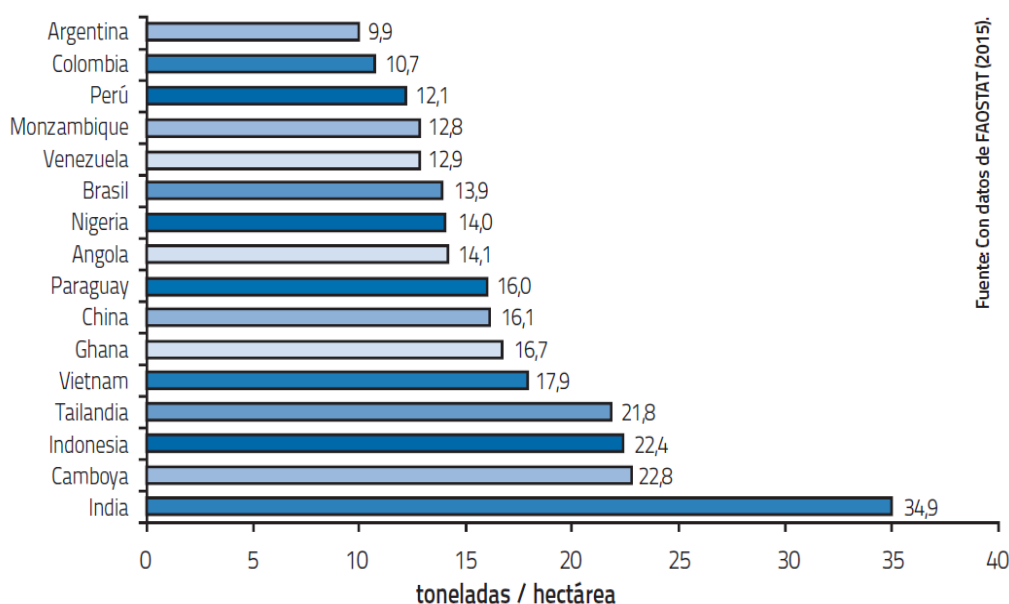


Figura 3. Rendimientos promedios de mandioca (*Manihot esculenta*) de algunos países en 2013 (FAOSTAT, 2015).

En América Latina y el Caribe, Brasil produjo el 70% de la mandioca de la región (21,2 millones de toneladas), y Argentina ocupó el séptimo lugar con 180000 toneladas (Figura 4). La producción en Argentina se concentra en la región del Nordeste argentino (NEA) integrada por las provincias de Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones. La superficie implantada alcanza las 15000 hectáreas. Misiones posee la mayor superficie cultivada (alrededor de 10000 hectáreas), seguida por Corrientes con

3500, Formosa con 1150 y Chaco con 450 ha. Misiones es el principal productor con el 73,8% de la producción, Corrientes representa un 19%, Formosa un 5,2% y Chaco un 2% (Burgos, 2018).

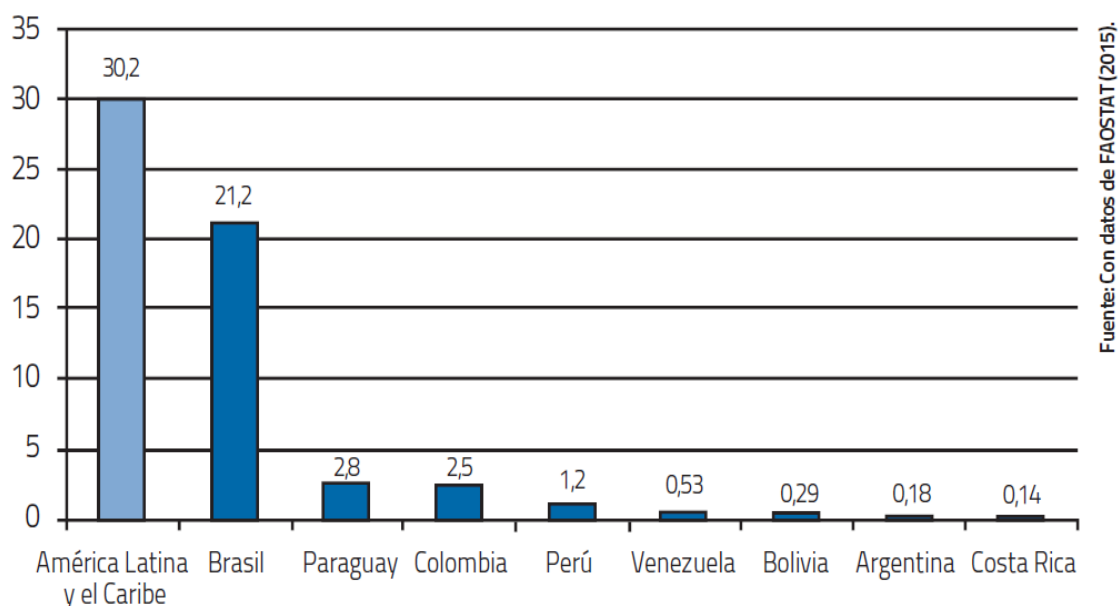


Figura 4. Principales países productores de mandioca (*Manihot esculenta*) en América Latina y el Caribe en 2013 (FAOSTAT, 2015).

En el NEA, la mandioca representa un cultivo social con fuerte identidad territorial y cultural, de gran importancia para la seguridad alimentaria y generación de ingresos de pequeños productores familiares (Aristizábal y Calle, 2015). En esta región se la cultiva principalmente para ser utilizada como alimento (Cenóz *et al.*, 2001). Sus raíces aportan un importante complemento de la alimentación de la población rural y de buena parte de la población urbana y, además, junto con sus hojas y ramas, provee un forraje económico y muy valioso para el ganado. Casi la totalidad de las producciones de Corrientes, Formosa y Chaco y el 75 % de la de Misiones se destina a la producción de raíces en fresco y no se industrializa (Burgos, 2018). En el último quinquenio mostró ser una alternativa redituable, sin embargo, si bien el número de productores se ha incrementado progresivamente, la demanda de raíces para consumo en fresco y para industria aún no está cubierta. En primer lugar, los mayores esfuerzos se orientan a satisfacer el autoconsumo; después en abastecer la comercialización del producto en fresco, y por último en proveer a la industria local. Generalmente la decisión de orientarla a la comercialización en fresco o como fécula la define el precio de cada uno en el momento de cosecharla.

Actualmente la mandioca está presente en bocas de expendio mayoristas y minoristas de interesante movimiento económico para las diferentes localidades productoras.

Aunque el nivel de producción ha aumentado, la capacidad ociosa de las industrias estaría aun alcanzando el 50% por carencia de materia prima. De hecho, empresas radicadas en Formosa y Corrientes dejaron de operar debido a la insuficiente cantidad de materia prima disponible, entre otras causas. Resulta evidente entonces que existe una demanda insatisfecha del producto y, en consecuencia, podría incrementarse la producción para lograr una oferta acorde a las necesidades de mercado.

Desde el punto de vista comercial, la capacidad industrial instalada permite el procesamiento de unas 292000 toneladas de raíces al año, equivalentes a unas 73000 toneladas de fécula o almidón. La realidad es que por falta de materia prima solamente se procesan entre 42000 y 50000 toneladas, equivalentes a una producción anual de fécula de 10300 a 12500 toneladas. De esta manera, la producción resulta insuficiente para abastecer la demanda nacional de 15000-18000 toneladas de fécula, por lo que

entre el 57 y en el mejor de los casos el 80% se puede llegar a cubrir con la producción nacional (Burgos, 2018). Esta situación de demanda insatisfecha constituye una oportunidad para la agricultura local. Una de las soluciones para satisfacer, al menos en parte, dicha demanda sería la implementación de tecnologías disponibles para incrementar los rendimientos, como por ejemplo la de adecuar la nutrición del cultivo mediante la fertilización.

I.2 Clasificación botánica, origen y difusión del cultivo de mandioca

La mandioca pertenece al grupo de las Angiospermas, Eudicotiledóneas, clado Rosídeas, clado Fabídeas, orden Malpighiales, familia Euphorbiaceae -caracterizada por la producción de látex en canales laticíferos, flores unisexuales y fruto cápsula tricoca- (APG IV, 2016), subfamilia Crotonoidea, tribu Manihotae y al género *Manihot*, cuyo nombre científico de la especie es *M. esculenta* Crantz.

Anteriormente, la mandioca se clasificó en dos especies diferentes, dependiendo de su capacidad cianogénica. Por un lado, a los cultivares amargos (con alto potencial cianogénico) se los denominó *Manihot utilissima*, mientras que a los cultivares dulces (bajo potencial cianogénico) *Manihot aipi* (Pohl, 1827; Pax, 1910). Sin embargo, Ciferri (1938) reconoció la prioridad del epíteto dado originalmente por von Crantz, incluyendo a todos los cultivares bajo una amplia designación, aunque posean alto o bajo potencial cianogénico (Ciferri, 1938). Se ha demostrado que esta característica no es útil como carácter diagnóstico debido a que es afectado por múltiples factores tanto extrínsecos como intrínsecos (Domínguez, 1981; Ceballos y De la Cruz, 2002).

El género *Manihot* comprende 98 especies de origen americano, siendo la mandioca la de mayor importancia económica (Jennings, 1995; Ceballos y De la Cruz, 2002). Se la conoce comúnmente como yuca, cassava, manioc, manioca, mandi'ó, tapioca, mhogo y omowgo (Domínguez, 1981). En Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil se la conoce con el nombre de mandioca. Existen varias hipótesis acerca del origen de esta denominación, sin embargo, todas ellas coinciden que tienen relación con la cultura Tupí-Guaraní (Jumelle, 1910; Coluccio, 1948; Corominas, 1954).

La mayoría de los botánicos y ecólogos consideran a la mandioca como una planta originaria de América tropical, específicamente del nordeste de Brasil. En la cuenca amazónica es donde el género *Manihot* Mill. muestra su mayor variabilidad genética. También se registra en Mesoamérica un centro secundario de diversidad genética (Ceballos y De La Cruz, 2002).

Existen evidencias que indican que su área de domesticación comprende una extensa región geográfica que abarca desde el Sur de Brasil hasta México. En esa zona ha sido cultivada desde hace aproximadamente 5000 años. La distribución de la misma a otros continentes se inició después del descubrimiento de América. Los portugueses la llevaron desde Brasil a las Costas Occidentales de África en el siglo XI. Posteriormente, a finales del siglo XVIII la introdujeron por Madagascar, y luego por la costa oriental. Finalmente, pasó de África a la India aproximadamente en 1800 donde se encuentra extensamente difundida y constituye un componente importante en la alimentación (Domínguez, 1983).

Es una especie que tiene una amplia adaptación, se la cultiva desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm, a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C (óptima de 24 °C), una humedad relativa entre 50 y 90 % (óptima de 72%) y una precipitación anual entre 600 y 3000 mm (óptima 1500 mm). Por ello, puede ser cultivada en la mayoría de los países situados en la franja tropical del mundo, comprendida entre los 30°N y los 30°S de latitud, siendo el área de mayor importancia para el cultivo (Lorenzi, 2012). A pesar de ser una planta perenne, sus raíces tuberosas son cosechadas comercialmente entre los 6 y 24 meses posteriores a la plantación, según el cultivar y las condiciones de crecimiento (El Sharkawy, 1993; Cock, 1983).

I.3 Descripción morfológica de la planta

La mandioca es una planta con porte arbustivo. Según el cultivar y las condiciones ecológicas, su altura puede variar de 1 a 5 metros, siendo más común encontrar plantas de entre 1 y 3 metros.

Las características botánicas de la mandioca muestran una amplia variabilidad, que indica un alto grado de hibridación interespecífica, por lo tanto, existen numerosos cultivares, que se distinguen en base a sus características morfológicas (Domínguez, 1983).

Las hojas son simples y están constituidas por la lámina foliar y el pecíolo. Frecuentemente son palmatilobadas o palmatisectas. Según el cultivar, las hojas maduras poseen diferentes colores y pueden tener diferentes números de lóbulos, por lo general impar (entre 3 y 9), pudiendo variar entre hojas de una misma planta. El número total de hojas producidas, su tasa de producción y longevidad son características varietales que difieren según las condiciones ambientales. La longitud de los pecíolos puede variar entre 9 y 20 cm, y pueden tener diferente pigmentación: verde (pigmentación ausente), morada (pigmentación intensa), y sus tonos intermedios.

Es una planta diclino-monoica, tiene flores masculinas y femeninas en una misma planta. Normalmente la polinización es cruzada, de ahí que sea una especie altamente heterocigota. En una misma inflorescencia, las flores femeninas abren primero que las masculinas, una o dos semanas antes (protoginia). La inflorescencia se forma en el punto de inserción de las ramificaciones reproductivas, aunque también pueden encontrarse en las axilas de las hojas de la parte superior de la planta. Comúnmente las flores femeninas están localizadas en la parte basal de la inflorescencia, mientras que las masculinas se agrupan en la parte superior.

El fruto es una cápsula dehiscente, de forma ovoide o globular, de 1 a 1,5 cm de diámetro. Presenta dehiscencia bisepta (septicida y loculicida).

La semilla es el medio de reproducción sexual de la planta y, por consiguiente, es de gran valor en el mejoramiento genético del cultivo.

Los tallos son el medio para la multiplicación asexual de la especie (método más utilizado para la producción comercial del cultivo) y se consideran maduros cuando tienen un diámetro entre 2 a 6 centímetros. Tanto el grosor como el color del mismo, varían de acuerdo a la edad de la planta y al cultivar. Puede presentar dos tipos de ramificaciones: ramificaciones reproductivas y ramificaciones laterales o vegetativas. La primera constituye el carácter varietal más estable. Estas ramificaciones son inducidas por la floración, de allí que se las denominan ramificaciones reproductivas. El tipo de ramificación, si está presente, es simpodial, cuyo tallo o tallos principales se ramifican dicotómicamente, tricotómicamente o tetracotómicamente, originando ramas secundarias, las cuáles a su vez pueden dar origen a otras ramificaciones sucesivas. Existen cultivares que en determinadas regiones o condiciones no ramifican. Otras características importantes de la ramificación son: la altura de la primera ramificación y el ángulo formado entre estas y el tallo central. Esta última característica determina el hábito de ramificación que varía desde postrado, decumbente hasta erecto.

Las raíces tienen la capacidad de almacenar almidón, por lo cual son el órgano de la planta con mayor valor económico. En plantas provenientes de material vegetativo estas se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca, y también a partir de las yemas que están bajo tierra. Al desarrollarse forman un sistema fibroso, desde el cual algunas inician su engrosamiento por crecimiento secundario y se convierten en raíces tuberosas (Domínguez, 1983; Medina et al., 2007). La planta absorbe agua y nutrientes por medio de las raíces fibrosas, sin embargo, no son muy eficientes durante el primer mes de crecimiento (Cadavid 2004, Aristizábal 2015). Solamente unas pocas raíces, por lo general menos de diez, se vuelven tuberosas de manera tal que la mayoría de las raíces fibrosas continúan con su función de absorción y/o sostén mientras la planta crece y se desarrolla (Domínguez, 1983). La cáscara de la raíz, está

formada por la peridermis y la corteza. Los colores básicos de la peridermis son blanco o crema, marrón claro y marrón oscuro. La superficie puede ser rugosa o lisa. Estos caracteres son de los más estables en los cultivares. Debajo de la peridermis se encuentra la corteza o capa cortical, de 1 a 2 mm de espesor, la cual puede ser blanca, crema o rosada. En esta capa se encuentran comprimidos los tejidos del floema que contienen glicósidos cianogénicos, responsables de la formación del ácido cianhídrico. La pulpa es la parte utilizable de la raíz. Está compuesta principalmente por tejido secundario del xilema derivado del cambium, cuyas células contienen amiloplastos en abundancia los cuales conforman los comúnmente conocidos como gránulos de almidón (Domínguez, 1983).

Un mes después de la plantación no es posible distinguir entre las raíces que más tarde engrosarán de las que permanecerán fibrosas. Cerca de seis semanas después de la plantación, algunas de las raíces fibrosas empiezan a engrosar rápidamente formando grandes cantidades de gránulos de almidón en el parénquima del xilema. El número de raíces que eventualmente engrosarán se determina en los primeros 2-3 meses después de la plantación en la mayoría de los cultivares (Cock *et al.*, 1979).

La mandioca se caracteriza por desarrollar simultáneamente área foliar y raíces, contrastando con los cereales que desarrollan primero el área foliar y luego la parte económicamente útil (*i.e.* granos). En la primera fase fenológica de los cereales hay poca competencia por substratos entre el desarrollo de la capacidad fotosintética y los órganos de almacenamiento mientras que, en un desarrollo simultáneo como el de la mandioca, debería haber un balance continuo entre la formación de las hojas y las partes útiles, en este caso las raíces tuberosas (Cock, 1983).

I.4 Fases fenológicas del cultivo

La mandioca es un cultivo perenne que puede crecer indefinidamente, alternando períodos de crecimiento vegetativo con otros de almacenamiento de carbohidratos en raíces e incluso períodos de casi dormancia, provocados por condiciones climáticas severas. La ocurrencia, duración y existencia de cada fase pueden verse afectados por factores relacionados con diferencias varietales, condiciones ambientales y/o prácticas culturales (Alves, 2002). Es importante tener un conocimiento detallado de dichas fases para tener mayor claridad de los estados críticos del cultivo y realizar, en base a ellos, las labores agrícolas pertinentes y de forma oportuna (Cadavid 2004; Aristizábal, 2015). Durante su crecimiento, el cultivo de mandioca atraviesa cinco fases fenológicas (Cours, 1951; Montaldo, 1979; Alves, 2002; Ternes, 2002):

1. Brotación de las estacas (5-15 días después de la plantación, DDP). En esta etapa, se forman las primeras raíces al nivel de los nudos de las estacas. Poco después se desarrollan los tallos aéreos. A los 10 o 12 días aparecen las hojas, y a los 15 días la planta está constituida.

2. Formación del sistema radical e inicio de la evolución foliar (15-90 DDP). En esta fase prosigue la formación de nuevas raíces absorbentes con mayor capacidad de penetración. Las primeras raíces formadas desaparecen casi por completo. Antes de los 30 días post-plantación, las raíces se están desarrollando, pero no ejercen función absorbente de nutrientes. El crecimiento de los tallos depende exclusivamente de los carbohidratos de reserva contenidos en la estaca-semilla (Cadavid 2004; Aristizábal, 2015). A partir de los 30 días, las hojas verdaderas son expandidas iniciándose el proceso fotosintético. La duración media de esta fase es entre 70 a 80 días.

3. Crecimiento de los tallos y de las hojas (90-180 DDP). Los tallos crecen y ramifican tomando el aspecto típico de la planta. Las hojas se desarrollan en gran número sobre los tallos y ramas y adquieren su tamaño máximo. Esta fase, en cultivares precoces, dura entre 60-70 días, y en los tardías entre 85-95. Es de las más importantes del ciclo

del cultivo, y una de las de máxima actividad fisiológica. La concentración de la mayor parte de los nutrientes absorbidos aumenta en las hojas, especialmente en las superiores. Este aumento progresivo va hasta el quinto mes y comienza a disminuir a partir de allí (Cadavid, 2004; Aristizábal, 2015). Simultáneamente, desde el tercer o cuarto mes después de la plantación, en esta fase comienza a producirse la acumulación de materia seca (MS) y almidón (productos de la fotosíntesis) en las raíces tuberosas, pero es en la siguiente fase donde se desarrolla este potencial (Cadavid 2004; Aristizábal, 2015).

4. Engrosamiento de las raíces (180-300 DDP). En esta fase se intensifica el movimiento de carbohidratos desde las hojas hacia las raíces donde se acumulan en forma de gránulos de almidón. Según Cours (1951), esta fase coincide también con el proceso de lignificación de las ramas. Durante este período continúan apareciendo nuevas hojas, con prioridad al inicio de la misma, pero su número disminuye progresivamente.

5. Reposo (300-360 DDP). La tasa de emisión de hojas comienza a disminuir y aumenta la tasa de senescencia de las mismas, perdiendo la mayor parte de sus hojas. Esta fase es más pronunciada ante la ocurrencia de estreses térmicos o hídricos durante el año. Si bien la actividad vegetativa disminuye, la migración de almidón hacia las raíces puede continuar. Con esta fase la planta completaría un ciclo de 9 a 12 meses.

1.5 Planteo del problema

Considerando que:

- La mandioca es considerada un cultivo rústico que crece bien en suelos pobres sin la aplicación de fertilizantes (Howeller, 1981; Lenis *et al.*, 2006), y su monocultivo sin un eficiente manejo de la nutrición conlleva a una disminución de la productividad, generando rendimientos por debajo de los potenciales (Hershey, 1991; De Tafur, 2004; El Sharkawy 2003; Imas y John, 2013), debido a la gran cantidad de nutrientes que absorbe del suelo (Howeller y Cadavid, 1983; Sarr *et al.*, 2013; Jansson, 1980).
- Existe, a nivel local, una amplia brecha entre los rendimientos potenciales y actuales en el cultivo (Cenóz y Burgos, 2006; Burgos, 2009).
- Para lograr aproximarse al rendimiento potencial, es fundamental conocer la asimilación de biomasa seca y su distribución dentro de la planta, ya que son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo. El estudio de los patrones de asignación de biomasa hacia los diferentes órganos, la variabilidad de estos patrones entre cultivares y el efecto de las condiciones ambientales en el proceso, pueden ayudar a maximizar la productividad y a seleccionar cultivares para un propósito particular (Tekalign y Hammes, 2005; Ñustez *et al.*, 2009).
- Tener un conocimiento adecuado de las etapas fenológicas, del consumo real de nutrientes y su dinámica de absorción permite tener una herramienta sólida para optimizar técnicamente las posibles recomendaciones de fertilización, de manera de poner los nutrientes a disposición del cultivo en los momentos y dosis en que más los requiera (Bertsch, 1995; Rengel *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2014), logrando una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes, incrementando los rendimientos, reduciendo costos de producción y la contaminación del ambiente (Carsky y Toukourou, 2005; Bertsch, 2005).
- En Corrientes, el cultivo de mandioca es realizado principalmente por agricultores familiares que generalmente no realizan rotaciones, ni aplican fertilizantes, y en la mayoría de los casos cuentan con una superficie limitada y escasas posibilidades de realizar una correcta reposición de nutrientes para poder aproximar los rendimientos actuales con los potenciales.

- La información disponible sobre los cultivares más difundidos localmente en cuanto a: su crecimiento, asimilación de biomasa y su distribución dentro de la planta, los componentes del rendimiento y la calidad, los requerimientos, la dinámica y los momentos de máxima absorción de nutrientes es escasa, más aún si se refiere a su comportamiento frente diferentes condiciones edafoclimáticas.

Por todo ello, resultaría fundamental generar información en lo que respecta a producción de biomasa, absorción de nutrientes y su comportamiento en diferentes ambientes de los cultivares de mandioca difundidos en la zona, que sirvan de base para futuros estudios en la búsqueda de aumentar la productividad del cultivo acercando los rendimientos actuales con los potenciales mediante un uso más eficiente de los recursos, un menor deterioro del suelo y del ambiente.

I.6 Hipótesis

- La producción de biomasa seca, los componentes del rendimiento y la calidad, la absorción y acumulación total y por órganos de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) varían de acuerdo al genotipo.
- Las diferentes fases fenológicas poseen un patrón de acumulación de macronutrientes diferente.
- La oferta agroambiental condiciona la absorción y acumulación total y por órganos de macronutrientes.

I.7 Objetivos

I.7.1 Objetivo general

Evaluar la producción y distribución de biomasa seca, la evolución de los componentes del rendimiento y la calidad, y la dinámica de la absorción de macronutrientes a lo largo del ciclo productivo de dos cultivares de mandioca implantados en tres sitios representativos de la cuenca mandioquera del norte de la provincia de Corrientes.

I.7.2 Objetivos específicos

- Cuantificar los componentes del rendimiento y de la calidad en ambos cultivares.
- Determinar la dinámica, distribución y cuantificar la acumulación de biomasa seca y macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en láminas, pecíolos, tallos, raíces y planta entera, en las diferentes fases fenológicas del ciclo del cultivo.
- Distinguir los momentos (fases fenológicas) de mayor requerimiento de macronutrientes.
- Evaluar dichas variables en tres sitios con diferente oferta ambiental.

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 Ubicación geográfica de los sitios y momento de realización del estudio

El ensayo se llevó a cabo durante dos campañas consecutivas, en tres sitios de la Provincia de Corrientes con condiciones agroecológicas diferentes, donde la mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) representa un cultivo tradicional para la agricultura familiar.

La ubicación de los sitios bajo estudio fue:

- Unidad de paisaje Lomadas arenosas rojizas, del sector del Parque mesopotámico. Corresponde a lomas suavemente onduladas, de suelos arenosos profundos, pardo-rojizos y bien drenados (Carnevali, 1994). El sitio se ubicó en la Colonia San Antonio, Departamento San Miguel ($27^{\circ}51'52.0''\text{S}$; $57^{\circ}22'51.8''\text{W}$), en un suelo de la serie Loreto.
- Unidad de paisaje Lomadas y planicies arenosas del Noroeste, pertenecientes al sector del Parque chaqueño-correntino. Son lomadas onduladas con laderas convexas, compuestas básicamente por arenas cuarzosas, bien drenadas, cribadas por lagunas casi circulares de superficie y profundidad variable (Carnevali, 1994). El ensayo se emplazó en la Agencia de Extensión Rural Corrientes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ($27^{\circ}29'27.3''\text{S}$; $58^{\circ}45'37.3''\text{W}$), en un suelo de la serie Ensenada Grande.
- Unidad de paisaje Dique natural del Paraná medio y afluentes principales pertenecientes al sector del Parque chaqueño-correntino. Corresponde a una planicie alta ligeramente ondulada relacionándose con áreas subcóncavas. Los suelos son moderadamente profundos y su drenaje es moderado (Carnevali, 1994). Su ubicación fue en los albardones del Río Paraná y arroyo Sombrerito, en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Corrientes ($27^{\circ}40'44.8''\text{S}$; $58^{\circ}46'03.4''\text{W}$), en un suelo de la serie Treviño.

En la Figura 5 puede apreciarse la ubicación geográfica de los sitios donde fueron emplazados los ensayos en las campañas 2015-2016 y 2016-2017.

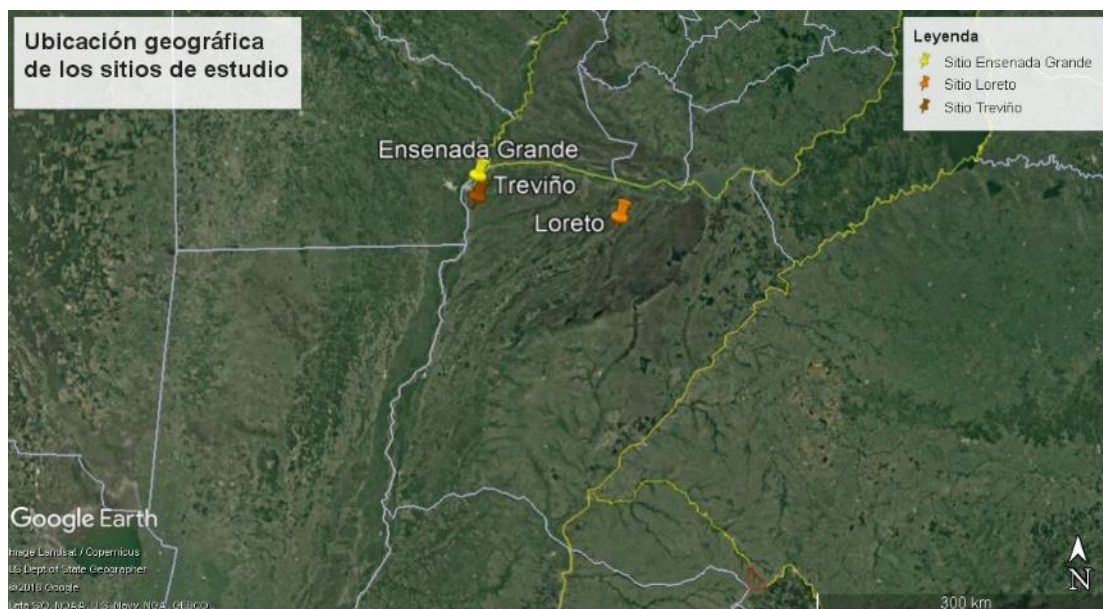


Figura 5. Ubicación geográfica de los sitios donde se implantaron los ensayos: Serie Treviño perteneciente a los Albardones del Río Paraná ($27^{\circ}40'44.8''\text{S}$; $58^{\circ}46'03.4''\text{W}$); Serie Ensenada Grande en Lomadas y planicies arenosas del noroeste ($27^{\circ}29'27.3''\text{S}$; $58^{\circ}45'37.3''\text{W}$) y Serie Loreto en Lomadas arenosas rojizas ($27^{\circ}51'52.0''\text{S}$; $57^{\circ}22'51.8''\text{W}$).

En la primera campaña los ensayos se implantaron el 14-10-2015, en los tres sitios estudiados, y los últimos muestreos se realizaron el 19, 20 y 21-07-2016 en Treviño, Loreto y Ensenada Grande, respectivamente. En la segunda campaña, en Treviño y Ensenada Grande, la fecha de implantación fue el 03-11-2016, mientras que en Loreto se realizó el 04-11-2016. Los últimos muestreos se realizaron el 15, 16 y 17-07-2017 en Loreto, Treviño y Ensenada Grande, respectivamente.

II.2 Caracterización edáfica de los sitios

En ambas campañas, previo a la implantación de los ensayos, se tomaron muestras compuestas de suelo (0-20 cm de profundidad) con el fin de caracterizar las condiciones físicas y químicas edáficas en cada uno de los sitios, y analizar el efecto de las mismas sobre las variables bajo estudio. Los resultados se pueden observar en la Tabla 2 del apartado III.1. Oferta ambiental. Condiciones meteorológicas y edáficas.

Loreto. El perfil representativo del sitio corresponde a la serie Loreto, el cual se clasificó como Hapludalf típico, franco fino, hipertérmico (Soil Survey Staff, 2014). Se ubica en un relieve normal, en posición de loma a media loma alta, con pendiente de 1-2%. Son suelos excesivamente drenados con escurrimiento medio y permeabilidad moderadamente rápida. Son profundos, con una profundidad efectiva mayor a 100 cm. Su fertilidad natural es baja, con tenores de materia orgánica inferiores al 1%, y bajos contenidos de bases de cambio. Esta serie es una de las más utilizadas en agricultura en una amplia zona de la provincia, como así también para forestales, cítricos y campo natural de pastoreo. Sus limitantes principales se deben a su susceptibilidad a la erosión hídrica, a la baja fertilidad natural y de retención de agua. Con prácticas adecuadas de manejo, pueden obtenerse rendimientos sostenidos. Son clasificados por capacidad de uso en Illes (Escobar *et al.*, 1996).

Ensenada Grande. El perfil representativo del sitio corresponde a la serie Ensenada Grande, clasificado como Udipsament árgico, franco fino mixto, hipertérmico (Soil Survey Staff, 2014). Cubre una superficie de 4.000 hectáreas. Se ubica en relieve normal, en posición de loma con pendientes de 0,5 a 1%. El escurrimiento es medio, la permeabilidad moderada, y son suelos bien drenados, profundos (profundidad efectiva mayor a 100 cm), con buenas condiciones físicas para el desarrollo radical y para la penetración del agua. Son suelos de baja fertilidad natural y de baja retención de humedad. El nivel de materia orgánica es menor al 1% en la capa arable, con muy pobres niveles de bases de cambio, aunque aumentan en profundidad. Esta serie es utilizada en agricultura, tanto en cultivos anuales típicos de la región como en cítricos, especies forestales y hortícolas. Presenta limitaciones por alta susceptibilidad a la erosión hídrica, baja retención de humedad y baja fertilidad natural. Su clase de capacidad de uso es Illes (Escobar *et al.*, 1996).

Treviño. El perfil representativo corresponde a la serie Treviño, clasificado como Argiudol ácuico, franco fino, hipertérmico (Soil Survey Staff, 2014). Cubre unas 9.750 hectáreas en la provincia. Se ubica en un relieve normal, en media loma alta a media loma, con pendientes de 1 a 1,5 %. Es un suelo moderadamente bien drenado, con escurrimiento medio a lento y permeabilidad moderada a moderadamente lenta, encharcables por cortos períodos. La profundidad efectiva llega hasta los 65 cm. La fertilidad natural es moderada, con valores intermedios en bases de cambio (especialmente en el Bt) y de materia orgánica en el epipedón. Poseen aptitud agrícola, aunque con limitaciones por susceptibilidad a la erosión hídrica y a encharcamientos, que restringen la elección de cultivos, y/o requieren prácticas especiales de conservación. Pueden ser usados para cultivos comunes, forestación, pastoreo extensivo o vida silvestre. El uso actual es agrícola, forestal, ganadero extensivo y en menor proporción para el cultivo de arroz. Su capacidad de uso es Ille (Escobar *et al.*, 1996).

II.3 Caracterización climática de la región

La Provincia de Corrientes posee un clima subtropical, muy cálido en verano, pero con heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera, y moderados y eventuales déficit, principalmente en verano. Según la clasificación de Köppen modificada, la clasificación para todas las localidades de la provincia es: **Cf w'a (h)**, que expresa un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca con precipitación máxima en otoño, y veranos muy cálidos con temperaturas superiores a 22 °C y media anual superior a 18 °C (Murphy, 2008). Como consecuencia principalmente de la latitud, las temperaturas aumentan de sur a norte. Hay una cierta tendencia de aumento este a oeste, debido a la mayor continentalidad. Las isoterms del mes más cálido del verano varían entre 26 y 27,5 °C, y las del mes más frío del invierno entre 13,5 °C y 16 °C. De manera similar a las medias anuales, estas también descienden fundamentalmente de norte a sur y en menor magnitud, de oeste a este en la misma latitud. Las temperaturas de verano son más homogéneas que las de invierno, y la amplitud anual promedio (12 °C) es más bien moderada como resultado de la escasa continentalidad (característica del continente sudamericano). Los rangos de amplitud de la temperatura media anual están entre 10 y 14 °C, disminuyendo hacia el sur (Escobar *et al.*, 1996).

En este estudio, para caracterizar las condiciones meteorológicas en cada uno de los sitios durante el período que duró el ensayo, se midieron la temperatura del aire (°C) y las precipitaciones (mm) cada 60 minutos. Para ello se utilizaron registradores de datos (*i.e.* data loggers de la marca Cavadevices®, Buenos Aires, Argentina), instalados a 1,5 m de altura. A partir de los datos registrados se determinaron las precipitaciones acumuladas por mes y totales, así como también, las temperaturas medias, mínimas y máximas mensuales ocurridas durante el ensayo. Con esos datos se construyeron los climogramas respectivos para cada sitio (ver Figuras 6 a-c).

II.4 Material vegetal

Se utilizaron dos cultivares de mandioca contrastantes en cuanto a su ramificación: Palomita (no ramificado), de amplia difusión entre los agricultores familiares por sus características culinarias; y Rama Seda (ramificado) no tan difundido pero que, según datos recogidos de lotes de productores (datos inéditos no publicados), demostró tener un comportamiento promisorio desde el punto de vista del rendimiento cultural, contenido de almidón en raíces tuberosas y comportamiento fitosanitario.

El cultivar Rama Seda (en adelante RS, Figura 6) se caracteriza por tener un porte mediano, entre 1,50 y 2 m de altura. Ramifica reproductivamente entre los 40 y 50 cm, presentando ramificación tricotómica. El tallo principal es de color verde oliva en estado inmaduro, tomando una coloración marrón grisácea cuando madura. El diámetro del tallo a los 20 cm es de alrededor de 3,3 cm. Las hojas adultas poseen 7 lóbulos, presentando el central una forma elíptica-lanceolada. Los pecíolos son de color rojo. Las raíces tuberosas son de formas cilindro-cónicas, sésiles, aunque también se diferencian pedunculadas. Tienen buena calidad culinaria. La peridermis es de color marrón grisáceo, la corteza interna es crema y la pulpa blanca. El contenido de almidón se encuentra entre 30 y 33 % en base fresca (Bogado *et al.*, 2016).

El cultivar Palomita (en adelante PA, Figura 7) se caracteriza por su porte mediano, entre 1,50 y 2,50 m de altura. Es generalmente monopodial, aunque también puede presentar ramificaciones reproductivas a 40-50 cm del suelo cuando es cultivada por varios años seguidos. El tallo principal cuando es joven es de color verde amarillento, con estípulas más claras, adquiriendo una coloración verde a gris ceniza cuando madura. El diámetro del tallo maduro no supera 1,2 cm. Presenta entrenudos muy cortos. Las hojas adultas están constituidas por 7 a 9 lóbulos, siendo el central de forma lineal. Los pecíolos tienen 25 a 30 cm, y presentan un color rojo oscuro en la

parte media, que se aclara hacia ambos extremos. Las raíces tuberosas son cilíndricas y sésiles. La peridermis es de color blanco grisácea, la corteza interna y la pulpa son de color blanco. El contenido de almidón se halla entre 27 y 30 % sobre materia fresca (Cenóz *et al*, 1969). Este cultivar es reconocido por sus buenas características organolépticas y degustativas para su consumo en fresco. Recibe las sinonimias regionales de Pombero blanco, Blanca de Misiones, o simplemente Blanca (Cenóz *et al*, 1969).



Figura 6. Planta de mandioca (*Manihot esculenta*) cultivar Rama Seda. Planta cultivada en el campo (a), planta completa (b) y tipo de ramificación (c).

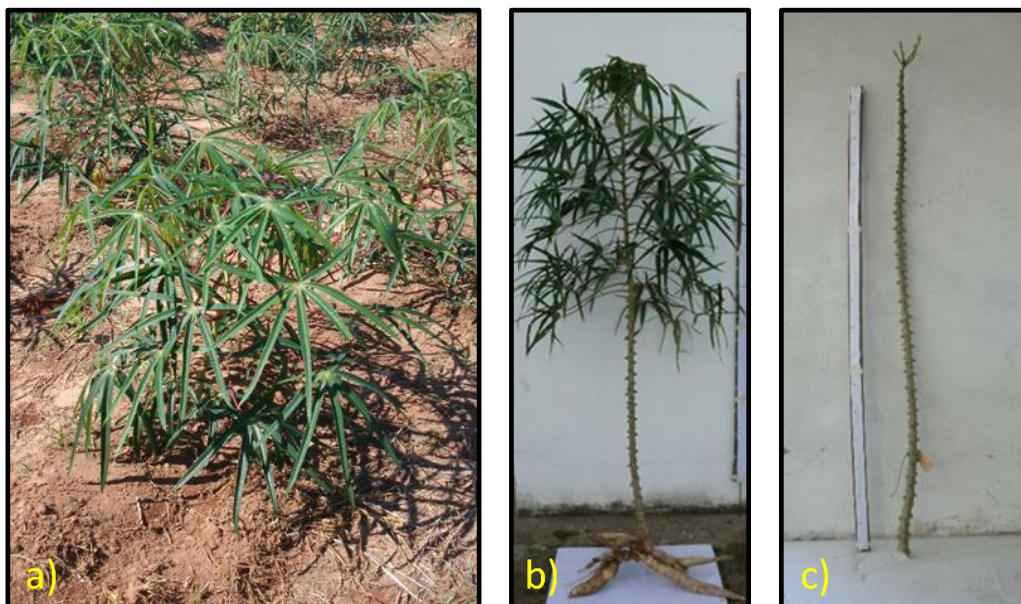


Figura 7. Planta de mandioca (*Manihot esculenta*) cultivar Palomita. Planta cultivada en el campo (a), planta completa (b) y tipo de ramificación (c).

II.5 Conducción del ensayo

II.5.1 Diseño Experimental y tratamientos

El diseño estadístico utilizado fue de bloques completos al azar con un arreglo factorial 3 x 2 x 5. Los factores fueron: Sitio, Cultivar y Momento de observación.

El factor Sitio estuvo compuesto por 3 niveles (denominados con el nombre de serie de suelo Loreto, Ensenada Grande y Treviño), el factor Cultivar estuvo constituido por 2 niveles (cvs. RS y PA); y el factor Momento de observación estuvo conformado por 5 niveles (50, 100, 150, 210 y 280 días después de plantación, DDP). Los tratamientos resultaron de la combinación de los niveles de cada factor, dando como resultado 30 tratamientos (Tabla 1), con 4 repeticiones cada uno, totalizando 120 unidades experimentales.

Tabla 1. Factores evaluados y tratamientos resultantes.

Sitio	Cultivar	Momento	Tratamiento
Loreto	Rama Seda	50 DDP	RS-Loreto-50 DDP
		100 DDP	RS-Loreto-100 DDP
		150 DDP	RS-Loreto-150 DDP
		210 DDP	RS-Loreto-210 DDP
		280 DDP	RS-Loreto-280 DDP
Ensenada Grande		50 DDP	RS-Ensenada Grande-50 DDP
		100 DDP	RS-Ensenada Grande-100 DDP
		150 DDP	RS-Ensenada Grande-150 DDP
		210 DDP	RS-Ensenada Grande-210 DDP
		280 DDP	RS-Ensenada Grande-280 DDP
Treviño		50 DDP	RS-Treviño-50 DDP
		100 DDP	RS-Treviño-100 DDP
		150 DDP	RS-Treviño-150 DDP
		210 DDP	RS-Treviño-210 DDP
		280 DDP	RS-Treviño-280 DDP
Loreto	Palomita	50 DDP	PA-Loreto-50 DDP
		100 DDP	PA-Loreto-100 DDP
		150 DDP	PA-Loreto-150 DDP
		210 DDP	PA-Loreto-210 DDP
		280 DDP	PA-Loreto-280 DDP
Ensenada Grande		50 DDP	PA-Ensenada Grande-50 DDP
		100 DDP	PA-Ensenada Grande-100 DDP
		150 DDP	PA-Ensenada Grande-150 DDP
		210 DDP	PA-Ensenada Grande-210 DDP
		280 DDP	PA-Ensenada Grande-280 DDP
Treviño		50 DDP	PA-Treviño-50 DDP
		100 DDP	PA-Treviño-100 DDP
		150 DDP	PA-Treviño-150 DDP
		210 DDP	PA-Treviño-210 DDP
		280 DDP	PA-Treviño-280 DDP

II.5.2 Unidad experimental

Las unidades experimentales fueron parcelas constituidas por 4 líneas de 10 m de longitud. El arreglo espacial dentro de la misma fue de 1 m entre surcos y 1 m entre plantas, completando un total de 40 plantas de mandioca por parcela (Figura 8). A fin de descartar efectos de bordura se plantaron 2 líneas perimetrales al ensayo.

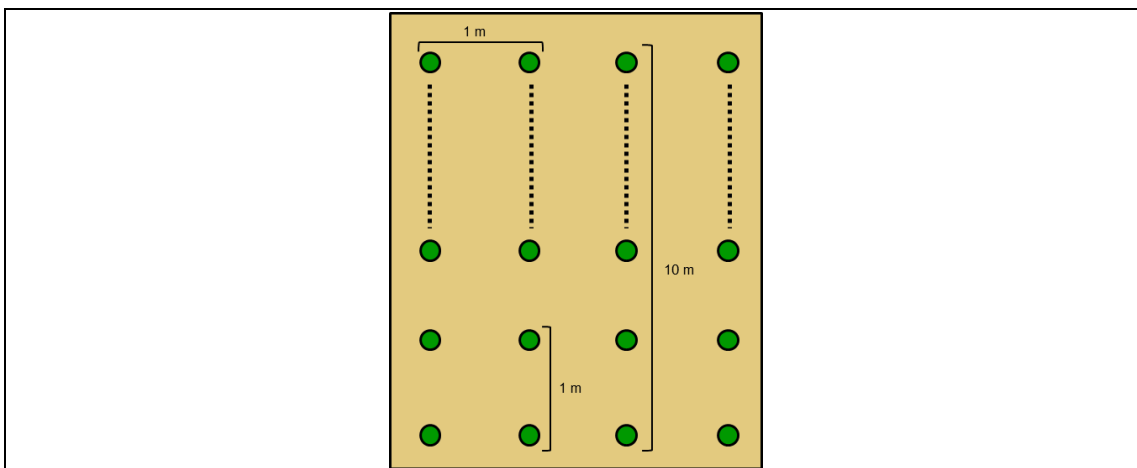


Figura 8. Representación esquemática del arreglo espacial de la unidad experimental.

II.5.3 Manejo del cultivo

Seis meses antes de la plantación se realizó la siembra de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) como cultivo de cobertura para realizar un control sobre las malezas y para uniformar los lotes introduciendo un cultivo antecesor común en los tres sitios (Figura 9). Posteriormente, se interrumpió el ciclo de dicho cultivo de servicio mediante la aplicación de herbicida total (glifosato, sal potásica, 54%; dosis: 3 L ha⁻¹) pulverizado con mochila manual.

Un mes antes de la plantación se realizó la preparación del suelo e incorporación del cultivo de cobertura mediante dos pasadas de rastra (Figura 10). Luego se confeccionaron lomos (Figura 11 y 12) para la plantación con el fin de prevenir efectos adversos del anegamiento, problema frecuente en la serie Treviño. Si bien dicho problema está asociado a la serie Treviño, se realizó la confección de lomos en todos los sitios de manera de que todos reciban el mismo manejo.

Inmediatamente antes de la plantación se realizó la confección de estacas-semillas prestando atención de que las mismas tengan entre 7 y 10 yemas viables (Figura 13).

La plantación se realizó sobre los lomos, colocando las estacas en forma horizontal en el fondo de hoyos realizados previamente con azada (Figura 14).

El ensayo se llevó a cabo en condiciones de secano, sin aplicación de riego. Tampoco se realizaron aplicaciones de fertilizantes con el fin de reflejar el desempeño de los cultivares con la fertilidad química propia de cada sitio.

El control de malezas se realizó durante todo el ciclo del cultivo, mediante carpidas con azada o aplicación de glifosato, según el grado de presión de las mismas.



Figura 9. Cultivo de cobertura de avena negra (*Avena strigosa* Schreb.) sembrada para control de malezas y como cultivo antecesor común.



Figura 10. Preparación de suelo e incorporación de avena negra previa a la plantación en la serie Treviño.



Figura 11. Confección de lomos con azada para prevenir efectos de anegamiento en la serie Loreto.



Figura 12. Detalle del alomado para la plantación en la serie Ensenada Grande.



Figura 13. Confección de estacas-semillas de mandioca cv. Rama Seda.



Figura 14. Apertura de hoyos y plantación horizontal de estacas en la serie Treviño.

II.5.4 Muestreos y determinaciones

Para la determinación de las variables evaluadas se tomaron muestras constituidas por tres plantas en cinco momentos, a los 50, 100, 150, 210 y 280 DDP, coincidentes con las fases fenológicas del cultivo descritas por Montaldo (1979), Alves (2002) y Cadavid (2004). Las plantas a muestrear se determinaron por sorteo. El muestreo fue destructivo, sin reemplazo, es decir que para determinar qué plantas muestrear en las subsiguientes observaciones se realizó nuevamente un sorteo entre las que no salieron favorecidas en el muestreo previo. Las plantas muestreadas se separaron en raíces, láminas, pecíolos y tallos. Cada fracción se pesó para obtener su peso en fresco y, en el caso de las raíces, se determinó además el número de raíces tuberosas (NRT), considerándolas como tales a aquellas cuyo diámetro en la parte media fue superior a 2 cm.

Las variables relacionadas a los componentes del rendimiento y contenido de almidón (calidad) se evaluaron solamente al final del ciclo, a los 280 DDP, excepto NRT que se evaluó a partir de los 100 DDP.

Cada una de las fracciones se llevó a estufa a 72°C donde se secaron hasta alcanzar peso constante con el fin de determinar sus pesos secos. Mediante la sumatoria de los

mismos se determinó la biomasa seca total de la planta (PS Planta) y se confeccionaron las curvas de producción de la misma (curvas de crecimiento). Además, se calcularon las tasas de crecimiento absoluto, TCA) mediante la fórmula $TCA = dP/dt = Pt_2 - Pt_1 / t_2 - t_1$, donde Pt_2 y Pt_1 son los pesos secos correspondientes a los tiempos t_2 y t_1 , respectivamente (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Por otro lado, también se calculó el índice de cosecha (IC) y la partición de asimilados en los respectivos órganos o sus fracciones (expresándola en porcentajes). El contenido de almidón se estimó utilizando el método gravimétrico descrito por Toro y Cañas (1983).

Posteriormente, todas las fracciones se molieron hasta obtener harinas para realizar los análisis de macronutrientes. De cada harina se tomó una sub-muestra a partir de la cual se determinó la concentración (gramos de nutriente en 100 gramos de muestra en base seca, es decir %) de N, P, K, Ca y Mg. Los análisis se realizaron por triplicado, siguiendo los protocolos descritos en AOAC (2012). A partir de las concentraciones de nutrientes y el peso seco de cada fracción, se determinó la masa total de nutrientes absorbidos en los mismos; y mediante la sumatoria de esos valores se calculó los gramos de nutrientes totales exportados por plantas completas, por el total de raíces y por tonelada de raíces tuberosas. Además, se elaboraron las curvas y calcularon las tasas de absorción de dichos macronutrientes por plantas completas, a lo largo de las fases fenológicas del cultivo; y se determinó su partición en los distintos órganos o sus fracciones, para ambos cultivares, y en los tres sitios.

II.5.5 Variables evaluadas

Variable	Sigla	Unidades
Producción de biomasa seca	PS Planta	Gramos (g)
Tasa de crecimiento absoluto o Tasa absoluta de producción de biomasa	TCA	g día ⁻¹
Partición de biomasa en raíces tuberosas, tallos, láminas y pecíolos	PS Raíces, PS Tallos, PS Láminas y PS Pecíolos	Porcentaje (%)
Partición de biomasa en parte aérea (tallos+pecíolos+láminas)	PS Aéreo	Porcentaje (%)
Número de raíces tuberosas totales	NRT	Nº de raíces
Peso fresco de raíces tuberosas	PFRT	Gramos (g)
Peso seco de raíces tuberosas	PSRT	Gramos (g)
Peso fresco de raíces tuberosas individuales	PFRTi	Gramos (g)
Peso seco de raíces tuberosas individuales	PSRTi	Gramos (g)
Índice de cosecha	IC	-
Contenido de almidón	% Almidón	Porcentaje (%)
Absorción de N, P, K, Ca y Mg	-	g planta ⁻¹
Tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg	-	g día ⁻¹
Extracción de N, P, K, Ca y Mg	-	kg ha ⁻¹
Exportación de N, P, K, Ca y Mg en raíces tuberosas	-	kg ha ⁻¹
Exportación de N, P, K, Ca y Mg por tonelada de raíces tuberosas	-	kg t ⁻¹

II.5.6 Análisis estadísticos

Los datos obtenidos para cada variable en los distintos momentos se analizaron estadísticamente para determinar diferencias entre tratamientos mediante el análisis de la varianza empleando un $\alpha=0,05$. Cuando se obtuvieron interacciones significativas, se utilizó la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan para cotejar las medias de los tratamientos. La comprobación del supuesto de normalidad en la distribución de los errores experimentales se hizo con el test de Shapiro-Wilks, apoyado por medidas gráficas (gráfico de dispersión y de cuantiles de una normal) (Steel y Torrie, 1993). El supuesto de homogeneidad de la varianza se comprobó realizando la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y por medio de gráficos de dispersión de los residuos *versus* predichos (Steel y Torrie, 1993).

Para los análisis se empleó el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Capítulo III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1 Oferta ambiental

III.1.1 Condiciones meteorológicas

A partir de los datos meteorológicos registrados se construyeron los climogramas correspondientes para cada sitio y ambas campañas.

Campaña 2015-2016

En esta campaña la temperatura media fue similar entre los sitios habiéndose registrado una media de 22,6°C en Loreto, 22,8°C en Ensenada Grande y 23°C en Treviño. Los meses más cálidos fueron enero y febrero con medias mensuales de 28°C en Loreto, 27,7°C en Treviño y 26,5°C en Ensenada Grande. El mes más frío fue junio con una media mensual de 14,5°C en Loreto; 14°C en Ensenada Grande y 13,6°C en Treviño.

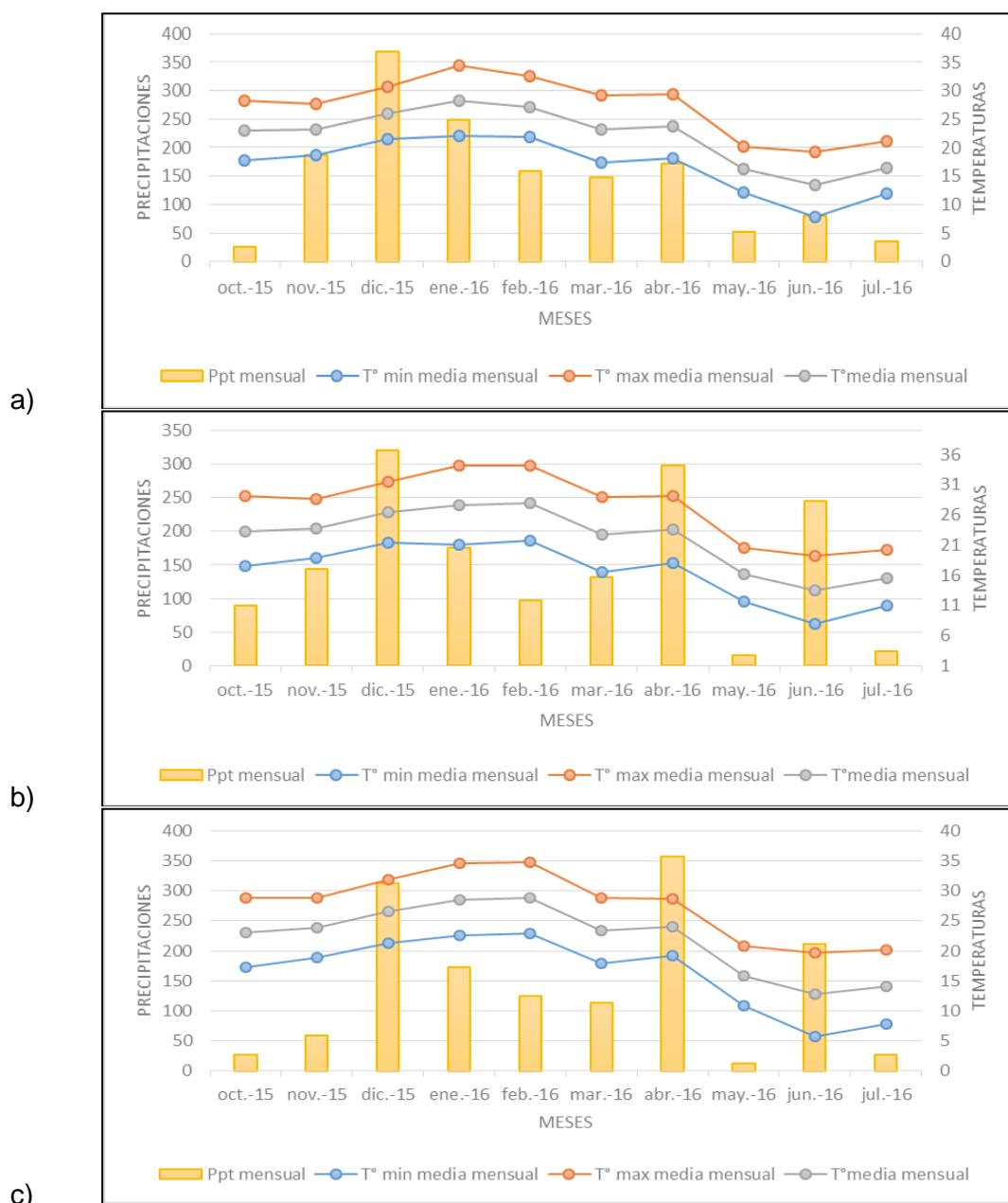


Figura 15. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm) y temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales (°C) registradas durante la campaña 2015-2016 en las series Loreto (a) Ensenada Grande (b) y Treviño (c).

Las precipitaciones totales acumuladas a lo largo del ciclo fueron: 1284,8; 1275,5 y 1416,5 mm en el sitio con serie Loreto, Ensenada Grande y Treviño, respectivamente (Figuras 15 a-c). La distribución de las mismas fue similar entre sitios a lo largo de la campaña (Figura 16 a-c), excepto en los primeros 50 días en que las precipitaciones fueron inferiores en Treviño (89 vs. 240 mm promedio), y entre los 150-210 DDP donde fue marcadamente inferior en Loreto (Figura 17).

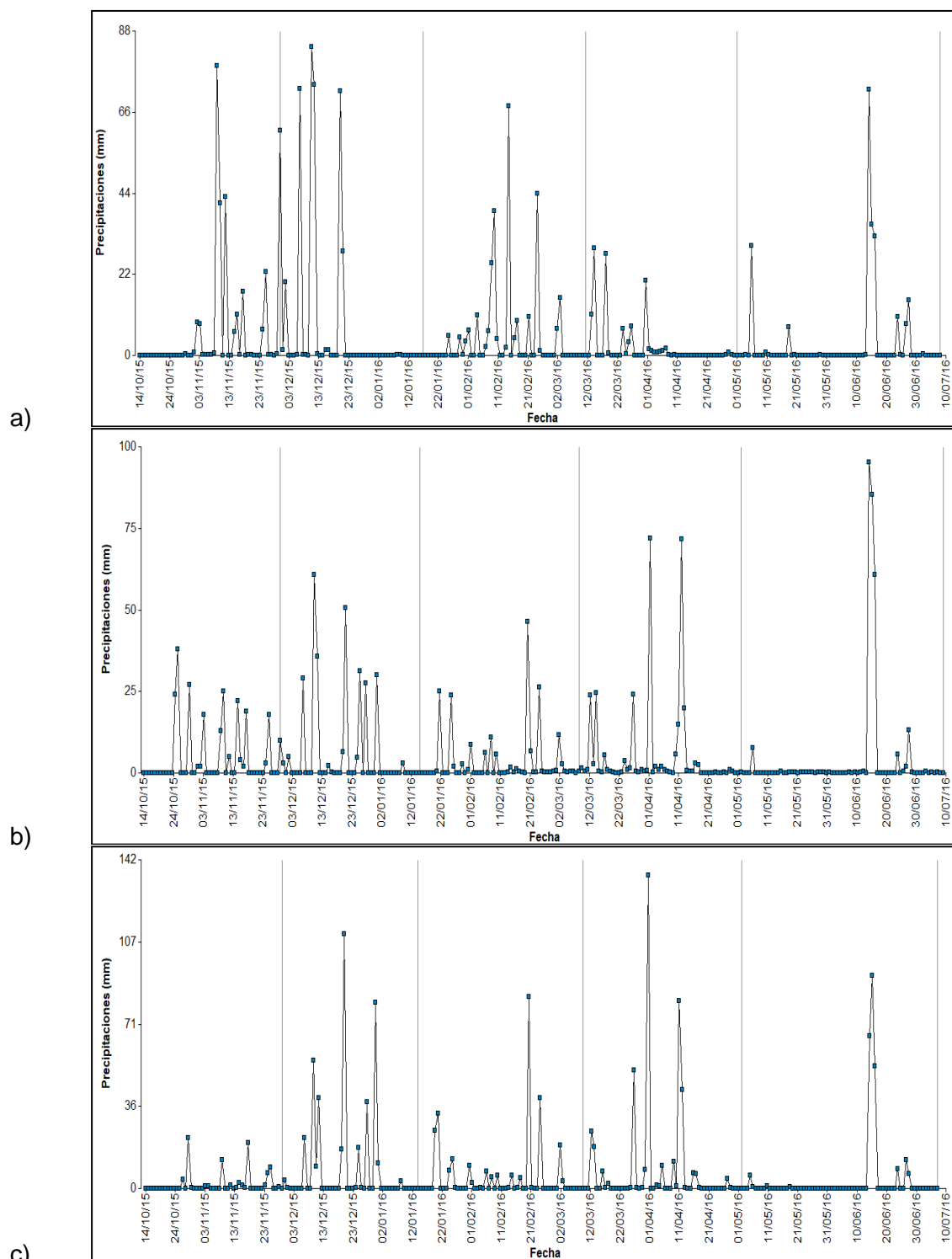


Figura 16. Distribución de precipitaciones (mm) registradas durante la campaña 2015-2016 en las series Loreto (a), en Ensenada Grande (b) y en Treviño (c). Las líneas de corte indican los momentos de muestreo.

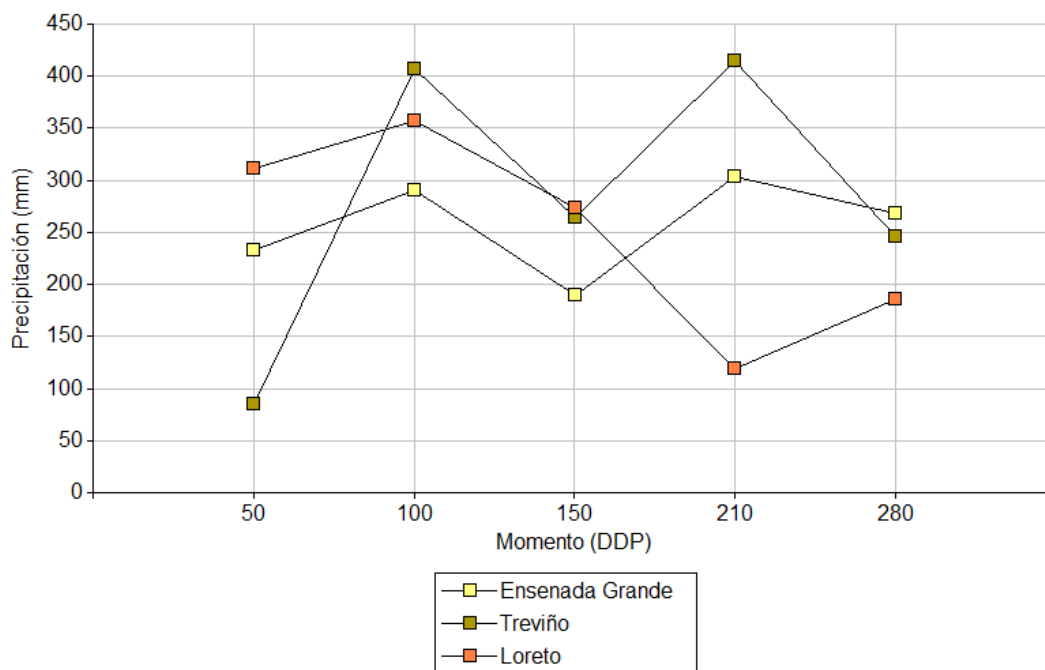


Figura 17. Precipitaciones acumuladas en cada sitio de experimentación por momentos de observación. Campaña 2015-2016.

Campaña 2016-2017

Durante la campaña 2016-2017 la temperatura media para todo el ciclo fue de 23,4°C en Loreto, 24°C en Ensenada Grande y 23,2°C en Treviño. El mes más cálido fue enero con 28°C en Loreto, 29,2°C en Ensenada Grande y 27°C en Treviño. El mes más frío fue junio en el caso de Loreto y Ensenada Grande con 17,9 y 17,5 °C respectivamente, mientras que en Treviño fue julio con 17,8°C.

Las precipitaciones totales acumuladas a lo largo del ciclo fueron: 948 mm en Loreto, 2043 mm en Ensenada Grande y 1529 mm en Treviño (Figura 18 a-c). En Treviño y Ensenada Grande, se produjo un pico máximo de precipitaciones en el mes de abril, coincidente con la fase de desarrollo de tallos y hojas (entre los 150 y 210 DDP), el cual no se presentó en Loreto (Figuras 19 y 20). En Ensenada Grande, a su vez, fueron superiores las precipitaciones ocurridas en el mes de marzo. En los tres sitios, las precipitaciones disminuyeron marcadamente en los meses de junio-julio, lo cual es una situación regular para el clima subtropical sin estación seca.

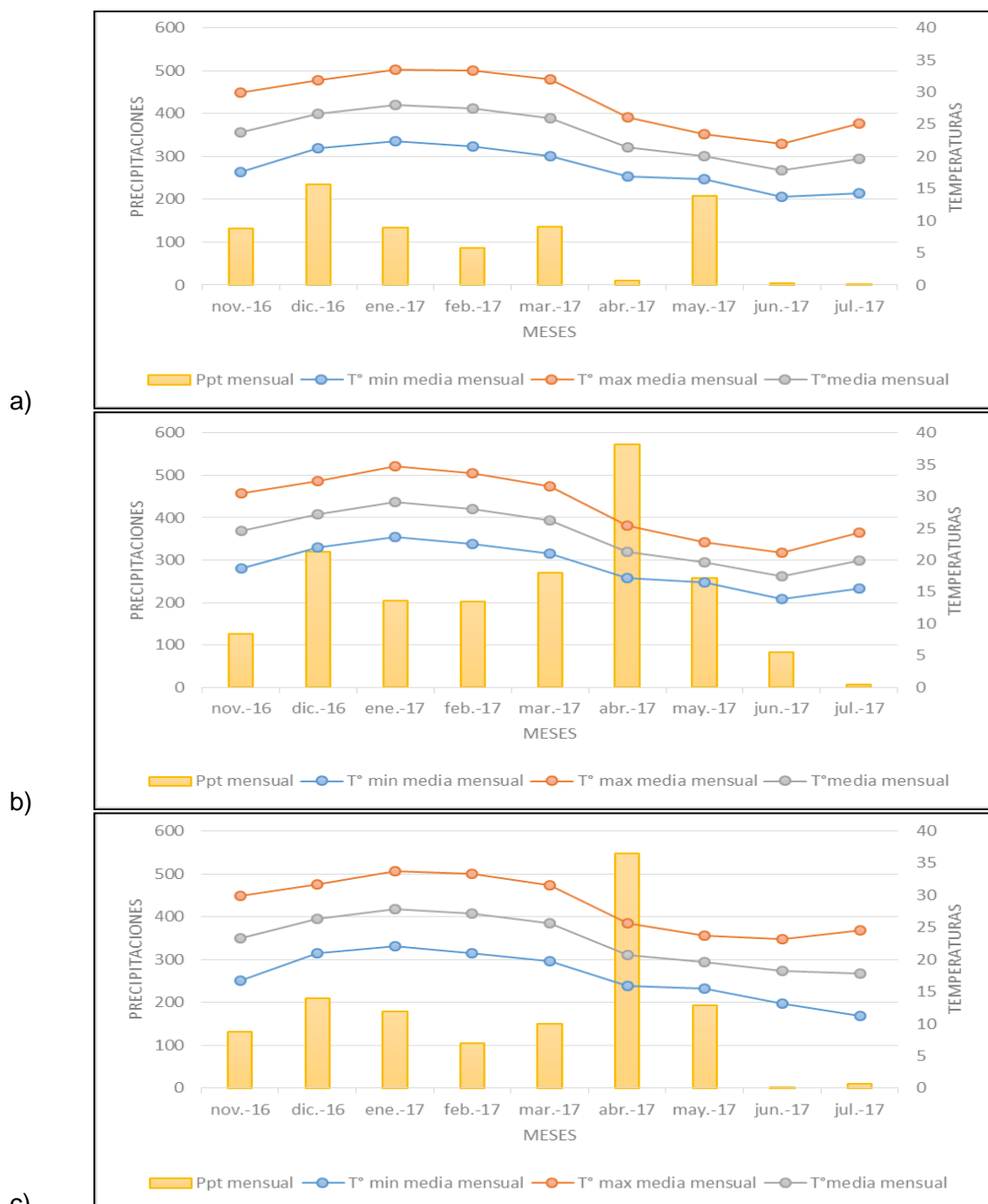


Figura 18. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm) y temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales (°C) registradas durante la campaña 2016-2017 en las series Loreto (a) Ensenada Grande (b) y Treviño (c).

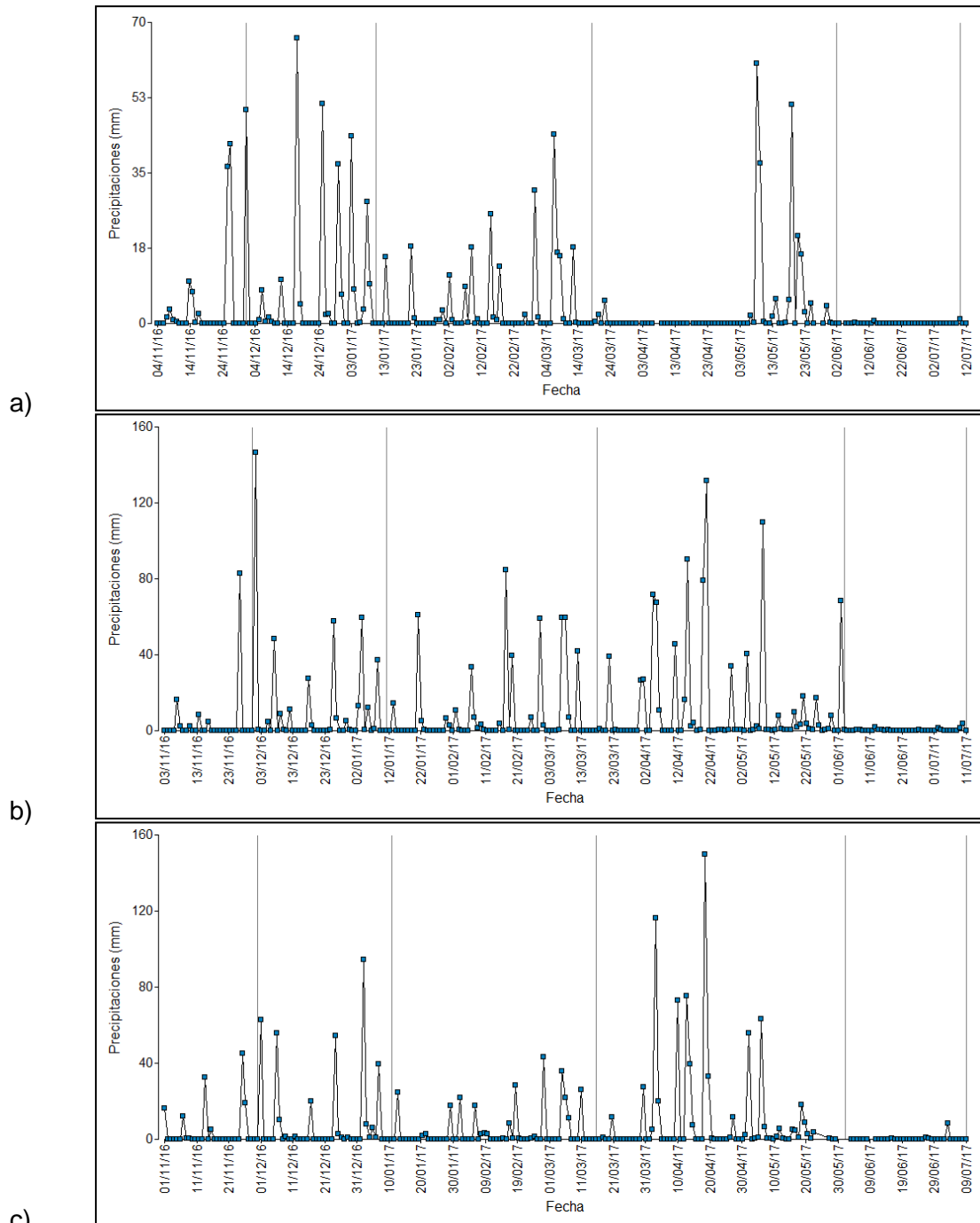


Figura 19. Distribución de las precipitaciones (mm) registradas durante la campaña 2016-2017 en las series Loreto (a), en Ensenada Grande (b) y en Treviño (c). Las líneas de corte indican los momentos de muestreo.

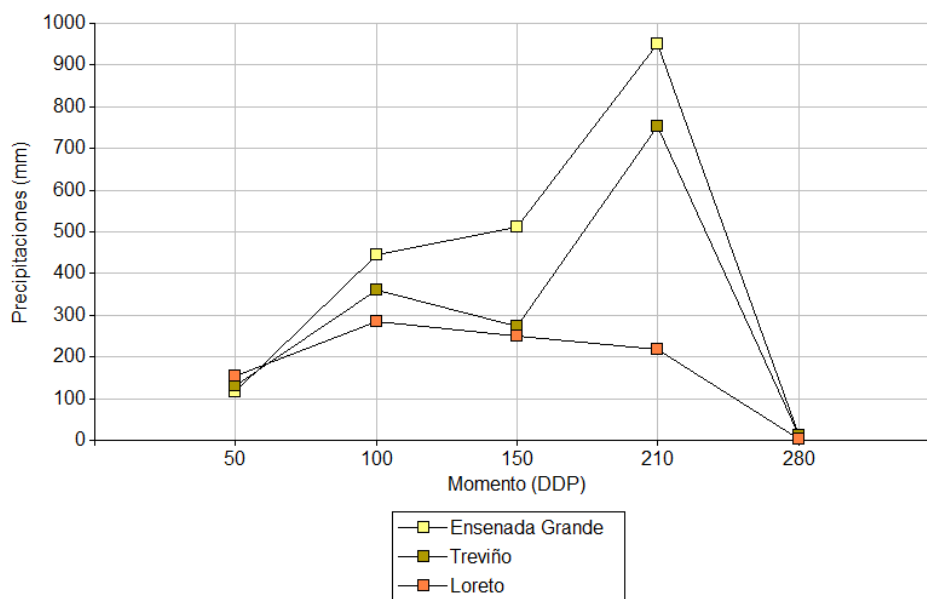


Figura 20. Precipitaciones acumuladas en cada sitio de experimentación por momentos de observación. Campaña 2016-2017.

III.1.2 Condiciones edáficas

Previo a la implantación de los ensayos, en ambas campañas se tomaron muestras compuestas de suelo (0-20 cm de profundidad) con el fin de caracterizar las condiciones físicas y químicas edáficas imperantes en cada uno de los sitios (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de análisis fisicoquímicos correspondientes a las tres series de suelos estudiadas para las campañas 2015-2016 (arriba) y 2016-2017 (abajo).

Sitio	pH	MO(%)	NT(%)	NA(%)	P(mg kg)	K(cmol kg)	Ca(cmol kg)	Mg(cmol kg)	Da(Mg m ³)
Loreto	5,24c*	1,68b	0,08b	0,0021b	13,49b	0,19b	1,51b	0,38b	1,44a
Ensenada Grande	6,21a	1,34c	0,07c	0,0020b	16,01a	0,09c	1,46b	0,29b	1,35b
Treviño	5,69b	2,60a	0,13a	0,0033a	5,13c	0,29a	6,36a	1,00a	1,25c

Sitio	pH	MO (%)	NT (%)	NA (%)	P (mg kg)	K (cmol kg)	Ca (cmol kg)	Mg (cmol kg)	Da(Mg m ³)
Loreto	6,30a*	1,84b	0,09b	0,0023b	15,79b	0,40b	2,57b	0,58b	1,47a
Ensenada Grande	6,21b	1,14c	0,06c	0,0015c	19,36a	0,13c	1,42c	0,36c	1,39b
Treviño	5,97c	2,79a	0,14a	0,0036a	9,64c	0,53a	7,60a	1,42a	1,29c

Referencias: pH: potencial hidrógeno; MO: materia orgánica; NT: nitrógeno total; NA: nitrógeno aprovechable; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Da: densidad aparente.*Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

Según los resultados obtenidos en los análisis de suelo y los requerimientos nutricionales del cultivo de mandioca (Howeller, 1981; Howeller, 2002) en ambas campañas se observaron condiciones similares. Tanto pH, P y Ca estuvieron dentro de los valores óptimos para el crecimiento en los tres sitios estudiados. En el caso del K, estuvo dentro de los valores normales para las series Loreto y Treviño, mientras que en Ensenada Grande los valores fueron bajos. Respecto al contenido de materia orgánica (% MO), Treviño presentó los mayores valores (aún superiores a los datos analíticos del perfil modal), mientras que en Loreto y Ensenada Grande se obtuvieron valores más bien bajos, propios de las condiciones, pero bien provistos respecto del perfil modal.

Los valores de K, Ca, Mg, % MO, % NT y % NA, fueron significativamente superiores en Treviño respecto a los demás, mientras que el contenido de P fue superior en Ensenada Grande.

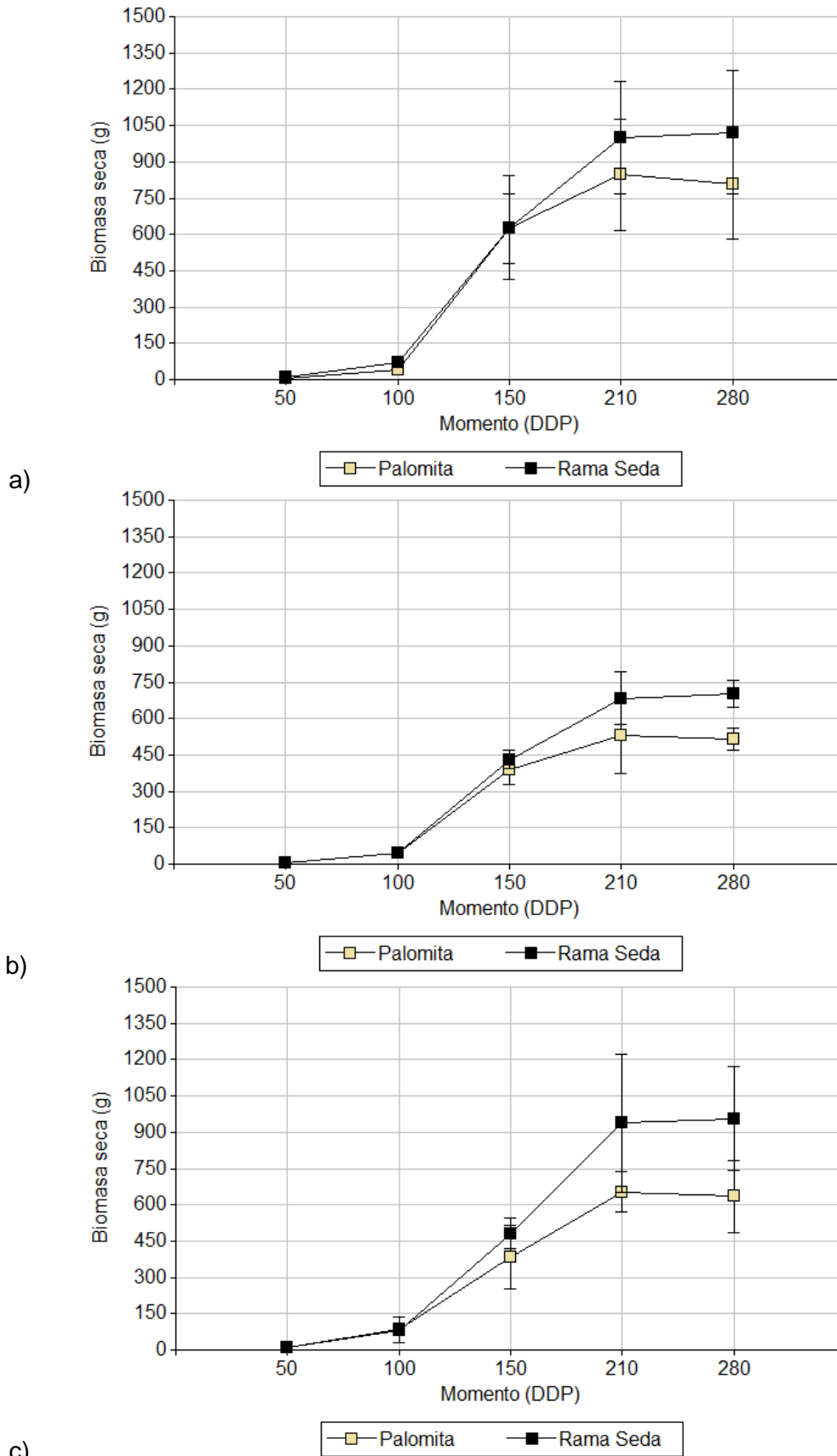
III.2 Biomasa

III.2.1 Producción de biomasa

En términos generales, durante las dos campañas estudiadas, se observó que la producción de biomasa seca por planta (PS Planta) describió un patrón sigmoideal, característico de la evolución del crecimiento de numerosos cultivos. Al inicio hubo una etapa de crecimiento lento, seguida de una fase exponencial con un crecimiento acelerado y, por último, una etapa de estabilización donde se alcanzó el máximo PS Planta.

En la campaña 2015-2016, no se hallaron diferencias en la evolución del PS Planta de los cultivares en los distintos sitios, sin embargo, sí existieron interacciones significativas del tipo cultivar*momento ($p \leq 0,0031$) y sitio*momento ($p \leq 0,0041$).

Durante las primeras tres fases fenológicas estudiadas no se observaron diferencias entre los cultivares (Figura 21). Hasta los 100 DDP, las plantas transcurrieron la etapa inicial de crecimiento, caracterizada por una tasa de crecimiento baja o lenta de $0,6 \text{ g día}^{-1}$, durante la cual ambos produjeron 65 g planta^{-1} , en promedio (7,9% de la biomasa total producida durante el ciclo). Este comportamiento también fue observado por Burgos (2009) y Silva *et al.* (2014). Entre los 100 y 210 DDP, transcurrió la fase de crecimiento exponencial. En ese período, entre los 100 y 150 DDP, se produjo la tasa máxima de crecimiento ($8,6 \text{ g día}^{-1}$), alcanzando en promedio $490 \text{ g planta}^{-1}$ (63,4% de la biomasa total producida). La tasa hallada en esta fase tuvo valores cercanos a los presentados por Lorenzi *et al.* (1980) quien, en condiciones de latitud similares, observó una tasa de 105 kg/ha/día ($10,5 \text{ g día}^{-1}$ por planta) en promedio entre los dos cultivares evaluados. A partir de los 210 DDP, se redujo la tasa en ambos cultivares, alcanzando la fase de estabilización (Figura 21). En dicho momento el PS Planta de RS fue significativamente superior ($p \leq 0,0246$) en todos los sitios, con valores de 998,9; 938,7 y 683 g en Loreto, Treviño y Ensenada Grande, respectivamente. Dicho cultivar alcanzó el máximo valor de PS Planta a los 280 DDP (sin diferencias significativas con los 210 DDP), es decir que continuó acumulando biomasa hasta el final del ciclo (Figura 22). En PA, el PS Planta máximo se obtuvo a los 210 DDP con valores de 846; 653,9 y 530,3 g en Loreto, Treviño y Ensenada Grande, respectivamente. Posteriormente se observó un descenso en PS Planta debido al impacto de la senescencia y caída de hojas sobre la biomasa aérea (Figura 21). Esa disminución en la fracción aérea no fue compensada por la magnitud del incremento en el PSRT, hecho que sí ocurrió en RS.



c)
 Figura 21. Evolución de la biomasa (en base seca) en planta entera de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

El patrón demostrado en el PS Planta en la campaña 2015-2016 fue similar al hallado por Sangoi y Krause (1993) en Correia Pinto, Brasil (similar latitud a este trabajo), quien observó incrementos considerables en la biomasa total de las plantas hasta los 210 días después de la plantación. Además, mencionó que en ese momento ambos cultivares estudiados alcanzaron los máximos valores de biomasa total acumulada. A su vez, al final del ciclo registró una disminución en la biomasa seca total a lo cual lo relacionó con la senescencia y caída de hojas ocurrida entre los 210 y los 240 días. Otros autores coincidieron en cuanto al comportamiento en las primeras fases (Lorenzi, 1978; Howeller y Cadavid, 1983), aunque en sus respectivos trabajos la fase de estabilización se produjo a los 180 días, anticipadamente respecto a lo acontecido en esta investigación posiblemente por las condiciones más tropicales donde desarrollaron sus estudios, lo cual provocaría un aceleramiento de las fases por las mayores temperaturas reinantes. En el caso de Cadavid (1988) la fase de estabilización se produjo a los 240 DDP.

Respecto a la máxima tasa de crecimiento, los resultados coinciden con los reportados por distintos autores. Silva *et al.* (2014) la hallaron a los 159 DDP. Lorenzi (1978) mencionó que la misma se produjo entre los 120 a 180 días después de la plantación. Howeller y Cadavid (1983), en condiciones tropicales, hallaron la misma entre los 90 a 150 días después de la plantación. Oelsigle (1975) la observó a los 210 días, aunque dicho retraso pudo deberse a las diferencias en las condiciones climáticas ocurridas en su sitio de investigación (elevada altitud), donde las plantas crecen a una tasa menor que las reportadas en este estudio dadas las menores temperaturas promedio. Burgos (2009), en Corrientes, reportó la máxima tasa de crecimiento entre los 180 y 240 días después de la plantación.

Entre sitios, no se observaron diferencias significativas en las primeras dos fases fenológicas, lo cual indicaría que en la etapa inicial de crecimiento la oferta ambiental no tiene un efecto notable sobre el PS Planta. A partir de los 150 DDP y hasta el final del ciclo, en Loreto fue significativamente superior ($p \leq 0,0041$) (Figura 21).

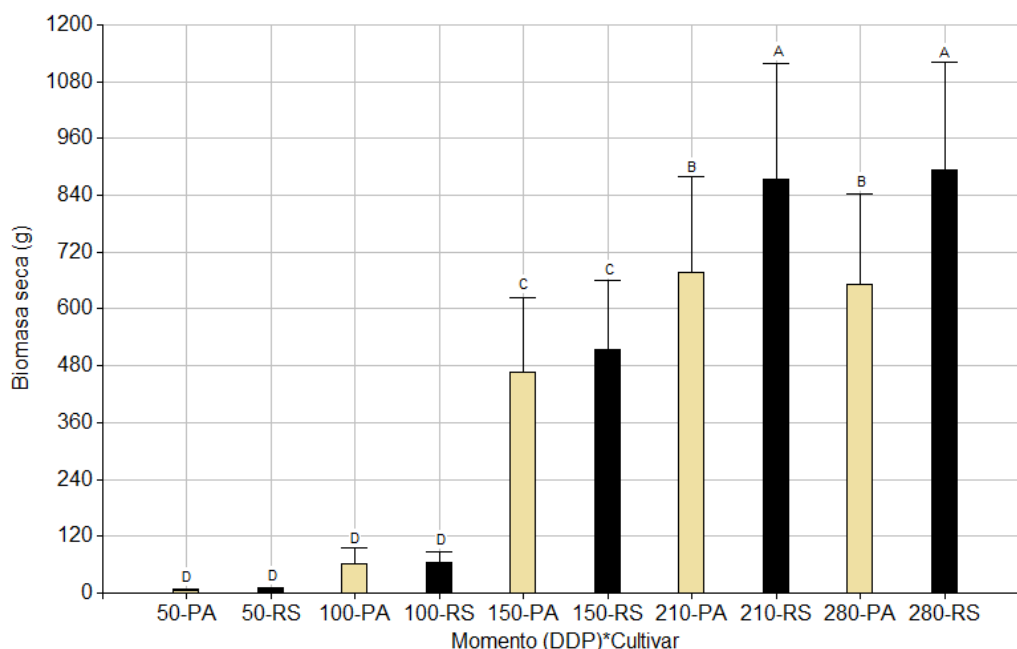


Figura 22. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

En la campaña 2016-2017, se hallaron interacciones cultivar*momento ($p \leq 0,0001$), sitio*momento ($p \leq 0,0001$) y cultivar*sitio ($p \leq 0,0136$).

Al igual que en la campaña 2015-2016, en las primeras dos fases no hubo diferencias entre cultivares (Figura 23). En ambos, hasta los 100 DDP se dio una etapa inicial caracterizada por una tasa de crecimiento baja ($0,14 \text{ g día}^{-1}$), durante la cual se produjo 14 g planta^{-1} , representando el 2% de la biomasa total del ciclo. Entre los 100 y los 210 DDP se presentó la fase de crecimiento exponencial. A diferencia de la campaña 2015-2016 donde la máxima tasa de crecimiento se alcanzó entre los 100 y los 150 DDP, en esta campaña se la evidenció entre los 150 y 210 DDP. Esta diferencia al parecer estuvo dada por la producción de biomasa aérea (PS Aéreo), ya que fue en la que se observó un desfase entre campañas. En el caso de las raíces, la dinámica de producción de biomasa fue similar.

A partir de los 150 DDP y hasta el final del ciclo, PS Planta fue significativamente superior en RS ($p \leq 0,0001$) (Figura 24). Dicho cultivar, alcanzó el máximo PS Planta a los 210 DDP en Loreto ($1385,1 \text{ g}$) y Ensenada Grande ($1185,3 \text{ g}$), mientras que en Treviño se halló a los 280 DDP ($548,2 \text{ g}$), aunque sin diferenciarse de lo obtenido a los 210 DDP. En PA el máximo PS Planta se obtuvo a los 210 DDP, con valores de $712,8$; $622,3$ y $393,2 \text{ g}$ en Loreto, Ensenada Grande y Treviño, respectivamente (Figura 23).

Entre sitios, en las primeras tres fases fenológicas no se observaron diferencias. A partir de los 210 DDP, Loreto y Ensenada Grande se diferenciaron significativamente de Treviño ($p \leq 0,0017$). El menor PS Planta hallado en Treviño pudo deberse a las elevadas precipitaciones acumuladas entre los 150 y 210 DDP que ocasionaron un encharcamiento frecuente debido a las características propias de esta serie de suelo (Ver apartado II.2. Caracterización edáfica de los sitios). Esta característica de la serie, la hace susceptible de ser marginal para el cultivo en condiciones de elevadas precipitaciones. En contraste con esto, las altas precipitaciones acumuladas en ese período favorecieron a la producción de biomasa en la serie Ensenada Grande dado que dicho suelo no presenta problemas de encharcamientos, más bien tiene baja retención de la humedad.

En cuanto a la interacción cultivar*sitio, se observó que RS produjo significativamente mayor PS Planta en las series Loreto y Ensenada Grande ($p \leq 0,0136$). PA no presentó diferencias entre los sitios (Figura 25). Esto evidenciaría una mayor estabilidad y plasticidad de PA para adaptarse a distintas condiciones ya que no se vio afectado el PS Planta ante la situación presentada en Treviño, hecho que sí se evidenció en RS quien produjo menor PS Planta en dicho sitio.

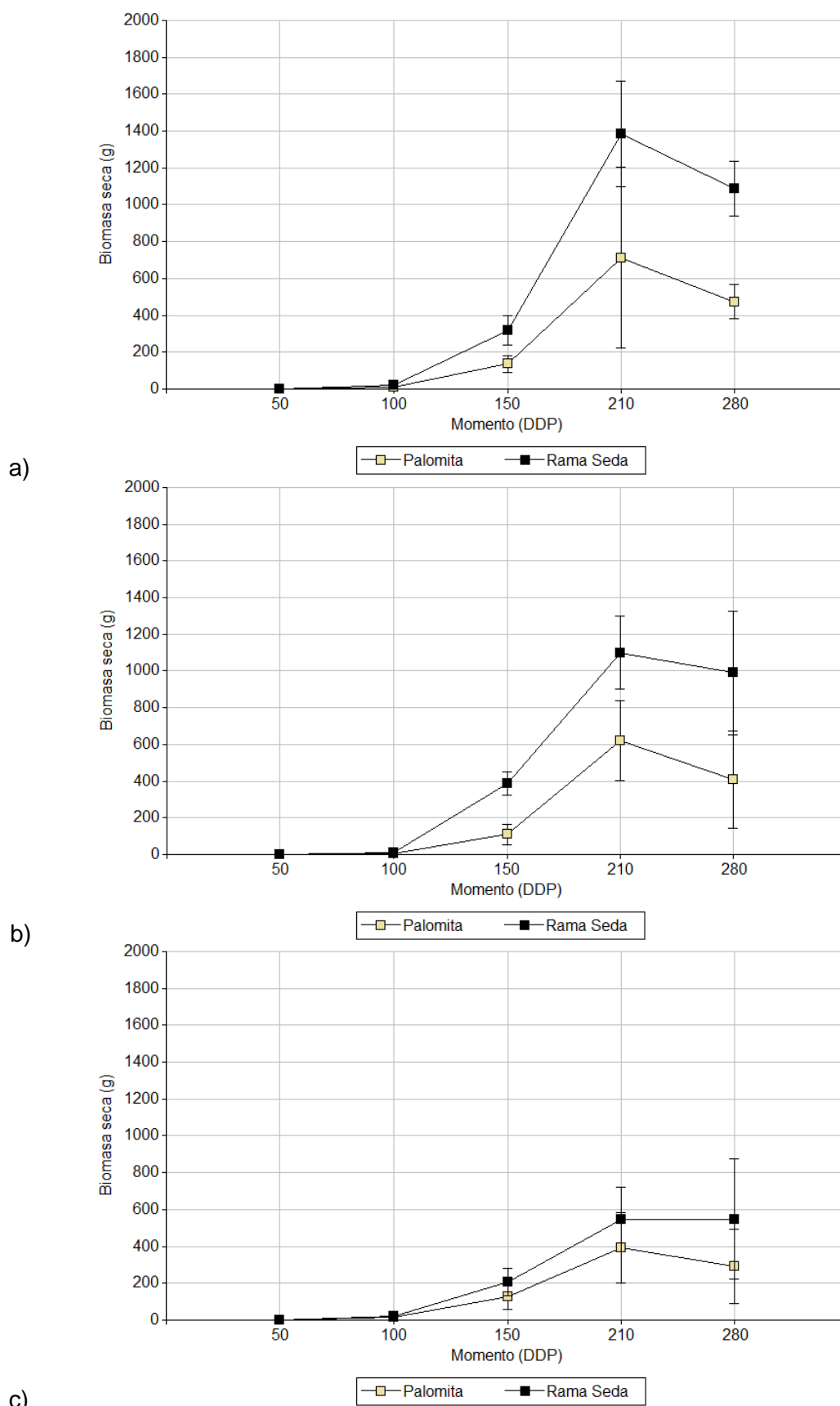


Figura 23. Evolución de la biomasa (en base seca) en planta entera de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

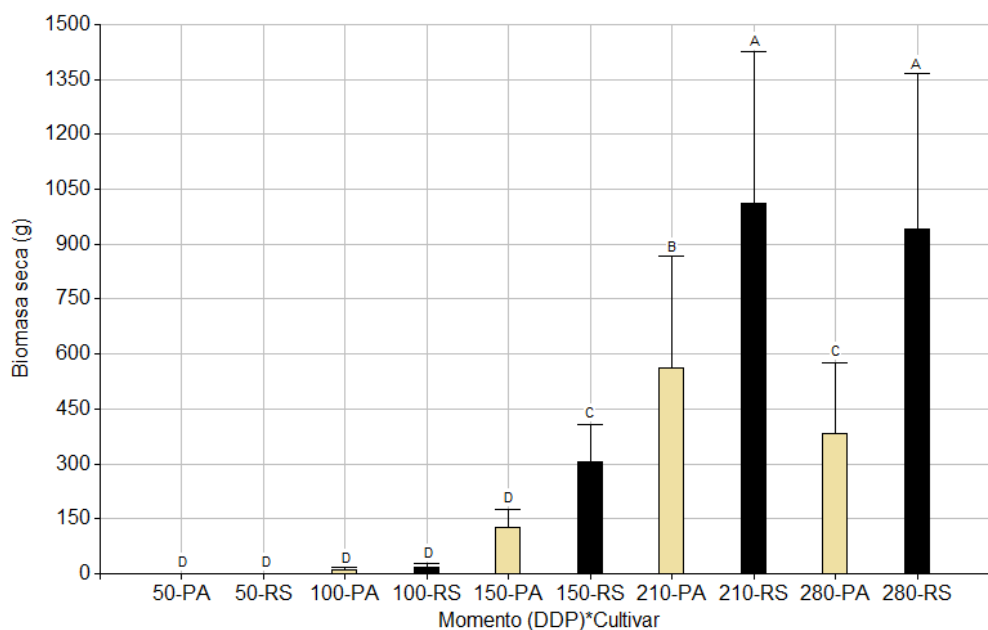


Figura 24. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

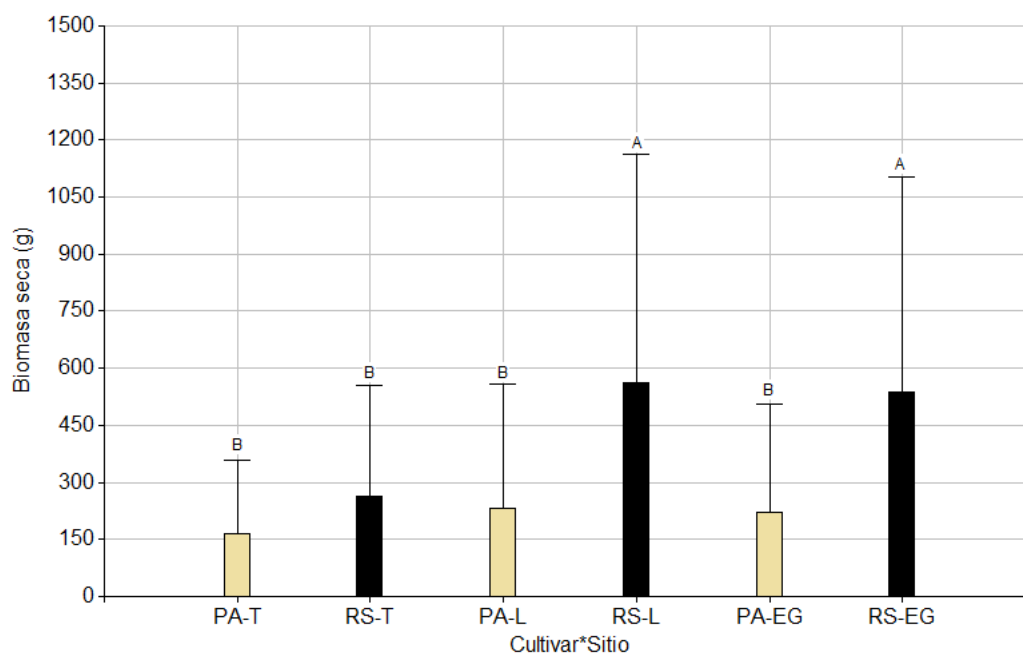


Figura 25. Producción de biomasa (en base seca) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

III.2.2 Partición de biomasa

Campaña 2015-2016

En las primeras fases (50 y 100 DDP), no se observaron diferencias entre sitios ni cultivares respecto de PS Aéreo y PS Raíces. A los 50 DDP el principal destino fueron las láminas (50%), seguidas por raíces (21%), tallos (18%) y pecíolos (11%) (Figura 26). Este comportamiento coincide con lo descrito por Alves (2002) y Sousa (2006) quienes indicaron que a los 50 DDP el cultivo se encontraría en fase de brotación de estacas, desplegando las primeras hojas para poder comenzar a fotosintetizar y producir fotoasimilados y formando un incipiente sistema radical fibroso. Similar comportamiento observó Sangoi y Krause (1993) mencionando que hasta los 60-75 DDP se acumula más materia seca en hojas que en tallos y raíces. En esta etapa la biomasa radical estuvo representada en su totalidad por raíces fibrosas ya que aún no se alcanzó a diferenciar visualmente un engrosamiento notable en las mismas.

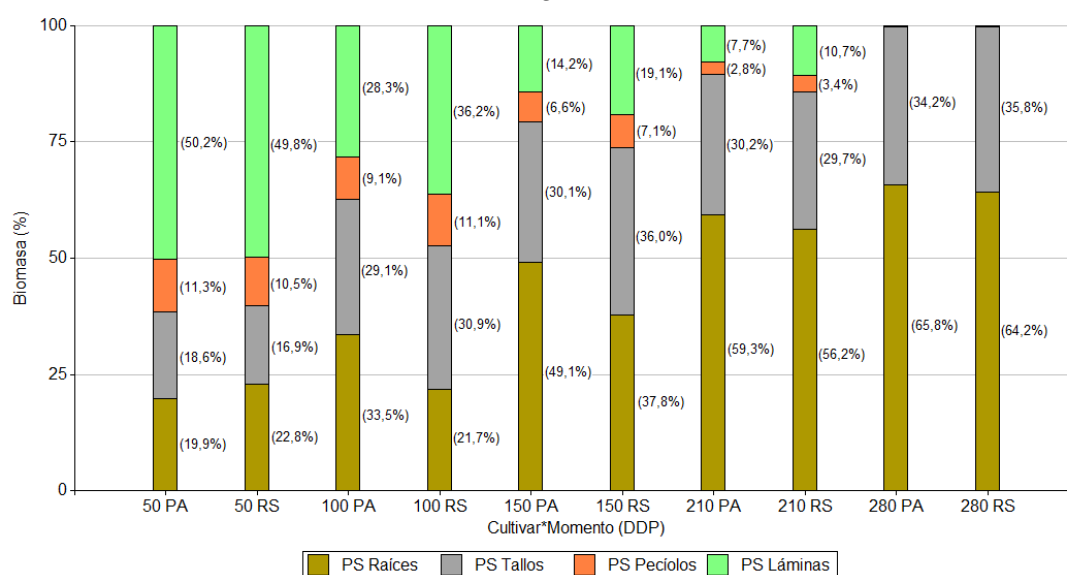


Figura 26. Partición de biomasa (en base seca) en raíces, tallos, pecíolos y láminas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*), cv. Palomita (PA) y cv. Rama Seda (RS), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

A los 100 DDP, si bien en ambos cultivares aumentó la partición hacia tallos en detrimento de las láminas, se observó una diferencia notoria en el porcentaje de partición hacia las raíces. En el cv. PA la partición hacia las raíces fue superior respecto a los demás órganos o sus fracciones (33,5% raíces, 29,1% tallos, 28,3% láminas y 9,1% pecíolos) convirtiéndose en el principal destino. En el cv. RS, en cambio, la partición hacia dichos órganos se mantuvo prácticamente constante respecto a la fase anterior continuando como destinos prioritarios las láminas y el tallo (Figura 26). El comportamiento demostrado por el cv. PA coincidió con lo mencionado por Alves (2002), quien indicó que a los 100 DDP la planta se encontraría en la fase de formación del sistema radical fibroso por ende la partición de biomasa hacia las raíces debiera tomar notoriedad. Resulta importante destacar que, además, en este momento comenzaron a diferenciarse las raíces tuberosas en ambos cultivares lo cual aumentaría la fuerza de las mismas como destinos de asimilados. El inicio de la diferenciación de raíces tuberosas coincidió con el hallado por Keating (1982) y Burgos (2009), quienes mencionaron que este proceso comienza a los 3 meses posteriores a la plantación. Keating *et al.* (1982) explica que en esa época existe un balance positivo de carbohidratos producidos y el excedente es traslocado a las raíces que empiezan a

engrosar. A pesar de todo ello, y en coincidencia con Cock *et al.* (1979) y Burgos (2009), la biomasa aérea (tallo+peciolos+láminas) continuó teniendo prioridad por sobre la radical, y las raíces recibieron el exceso de carbohidratos una vez que los requerimientos de la parte aérea fueron satisfechos.

A los 150 DDP, entre cultivares, el PS Aéreo fue significativamente superior ($p \leq 0,0177$) en RS respecto a PA (Figura 27), en todos los sitios, con valores de 401 vs. 334,6 g; 298,4 vs. 197 g; y 258,6 vs. 179,7 g en Loreto, Treviño y Ensenada Grande, respectivamente (Figura 28). La partición hacia la parte aérea fue de 62,2% para RS y 50,9% para PA, en promedio. Distinto fue lo ocurrido en raíces donde se observó una mayor partición hacia las mismas en PA (49,1 vs. 37,8%) aunque sin llegar a ser significativa la diferencia respecto a RS. En RS se hallaron diferencias notorias entre las fracciones aérea y radical, siendo mayor la partición hacia la primera (62,2 vs. 37,8%, promedio). En PA, si bien PS Aéreo fue mayor a PS Raíces, no se observaron diferencias marcadas entre fracciones (50,9 vs. 49,1%). El hecho de que la biomasa aérea fuese superior respecto a la acumulada en raíces concuerda con lo descrito por varios autores (Howeller y Cadavid, 1983; Cadavid, 2004; Ramanujam, 1985; De Diego y Quirós, 2006 y Alves, 2002) según los cuales, a los 150 DDP, el cultivo se encontraría transitando la fase de crecimiento de tallos y hojas.

Los resultados observados hasta esta fase, por un lado, indicaron mayor vigorosidad del cv. RS respecto a PA ya que produjo mayor PS Aéreo. Por otro lado, dejó en evidencia una mayor precocidad en PA, dado que el cambio en la partición de fotoasimilados hacia las raíces se dio anticipadamente respecto a RS. Los datos obtenidos resultan coincidentes con lo observado por Burgos (2009) quien destacó la precocidad de PA, sin embargo, en este trabajo el cambio de prioridad en la partición hacia raíces tuberosas se dio de manera más tardía respecto a lo mencionado en dicha investigación.

Entre sitios, en esta fase, tanto el PS Raíces como PS Aéreo fueron mayores en Loreto (Figura 28). Esto influyó para que el PS Planta fuese superior en dicha serie, como se indicó en la sección III.2.1 Producción de biomasa.

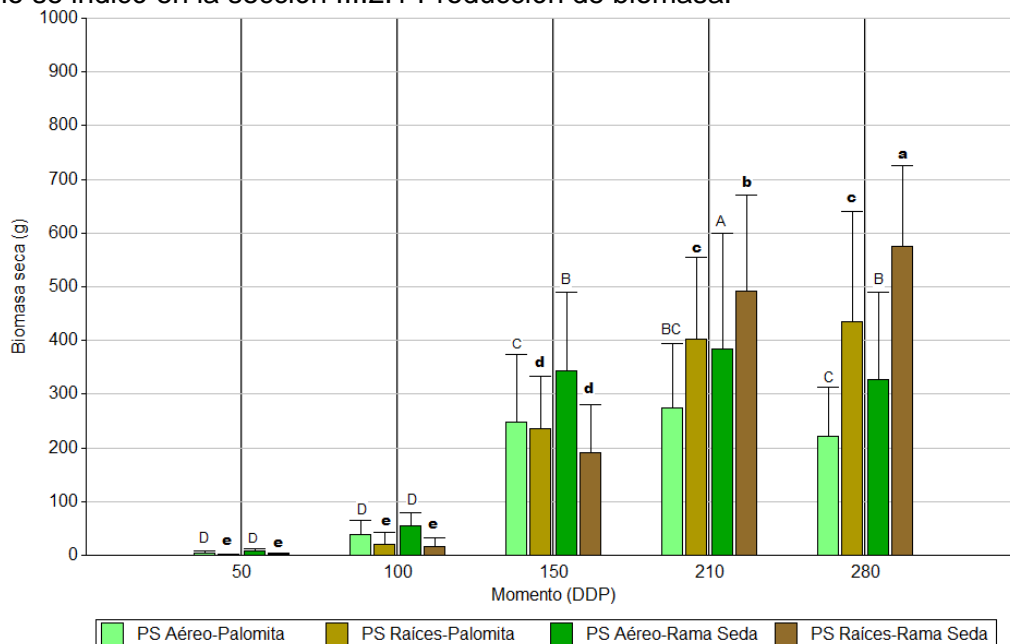


Figura 27. Partición de biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (izquierda de línea de corte) y Rama Seda (derecha de línea de corte), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre cultivares en las fracciones aéreas y radicales, respectivamente, mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

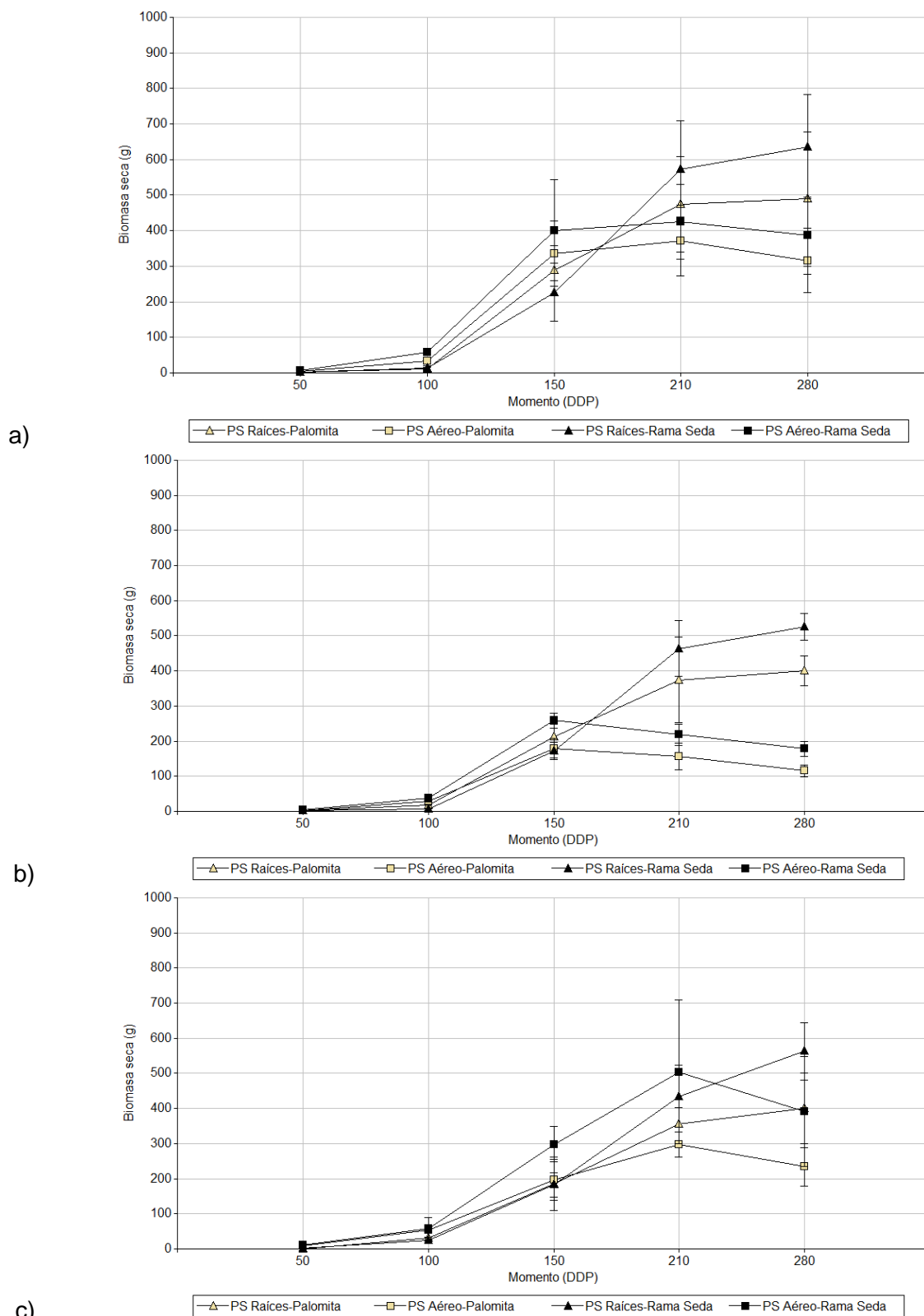


Figura 28. Evolución de la biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

A los 210 DDP, no se observaron diferencias en la partición entre fracciones, sin embargo, tanto el PS Aéreo como el PS Raíces fueron superiores en el cv. RS en todos los sitios evaluados (Figuras 27 y 28). En términos generales, en esta fase se

observó un cambio definitivo en el sentido de la partición de la biomasa desde la fracción aérea hacia las raíces. La partición hacia raíces, en ambos cultivares, fue superior al 55% de la biomasa total producida. La biomasa de láminas disminuyó prácticamente a la mitad de lo acumulado en la fase anterior, coincidiendo con otros autores (Solórzano, 1975; Howeller y Cadavid, 1983; Cadavid, 1988, 2002 y 2008; Castro y Kluge, 1999) quienes indicaron que, a partir del quinto o sexto mes, la acumulación de biomasa en láminas y pecíolos disminuye, continuando en tallos y raíces tuberosas. Esta respuesta pudo deberse a lo mencionado por Burgos (2009) y Sangoi y Krause (1993) quienes mencionaron que, debido a las bajas temperaturas ambientales, se produce una reducción significativa en el crecimiento de la planta, almacenándose más reservas en tallos y raíces para poder tolerar el invierno y ser capaz de brotar nuevamente una vez que finalice el mismo. Cabe destacar que a los 210 DDP transcurrió el mes de mayo con una temperatura media de 16°C (Figura 15). Otra respuesta a este comportamiento podría ser la dada por Alves (2002), quien mencionó que los días acortándose modifican la partición de asimilados tornándose prioritarias las raíces en detrimento de la parte aérea. Comparando los resultados observados con lo descrito por Alves (2002) y Cadavid (2004), a los 210 DDP, las plantas se encontraron transcurriendo la fase de engrosamiento de raíces tuberosas. Por otro lado, entre sitios, no se observaron diferencias en cuanto al PS Raíces aunque en Loreto fue superior. En PS Aérea, Loreto y Treviño fueron significativamente superiores a Ensenada Grande ($p \leq 0,0224$). Por último, a los 280 DDP, se observó la pérdida total de las hojas, y la biomasa de raíces continuó incrementándose en ambos cultivares, en todos los sitios (Figuras 28), probablemente por la redistribución hacia dichos destinos vía floema de los asimilados que estaban presentes en las hojas. La pérdida total de las mismas evidenció el ingreso a la fase de reposo, provocada por las bajas temperaturas reinantes en ese momento (julio). Sagrilo *et al.* (2006) indicó que dicha pérdida al final del ciclo es un hecho normal en mandioca y puede ser acelerada o retardada de acuerdo a las condiciones climáticas, especialmente por la temperatura. En esta fase, las raíces fueron el destino prioritario de los asimilados (superior al 60% en ambos cultivares) alcanzándose el máximo PS Raíces, coincidiendo con lo mencionado por varios autores (Sangoi y Krause, 1993; Alves, 2002; El-Sharkawy, 2003; Souza, 2006; Silva *et al.*, 2014). El PS Raíces fue significativamente superior en RS ($p \leq 0,0058$). Entre sitios, la partición hacia las raíces fue superior en Ensenada Grande respecto a los demás (76,2 vs. 61,3% en promedio), sin embargo, el PS Raíces fue mayor en Loreto sin ser significativas las diferencias.

Campaña 2016-2017

En los primeros dos momentos de observación la evolución de la partición de la biomasa fue similar a la observada en la campaña 2015-2016. No se observaron diferencias entre cultivares ni sitios.

A los 50 DDP, el principal destino fueron las láminas (49,5%), seguidas por tallos (26,6%), raíces (15,4%) y pecíolos (8,5%) (Figura 29).

A los 100 DDP, se mantuvo el orden de prioridades (láminas 45%, tallos 24,5%, raíces 18,5% y pecíolos 12%), sin embargo, hubo un aumento en la partición hacia raíces llegando casi a equipararse con la de tallos, a la vez que hubo una reducción de la partición hacia láminas. A diferencia de la primera campaña, no se detectaron diferencias notorias en la partición hacia raíces siendo similar en ambos cultivares.

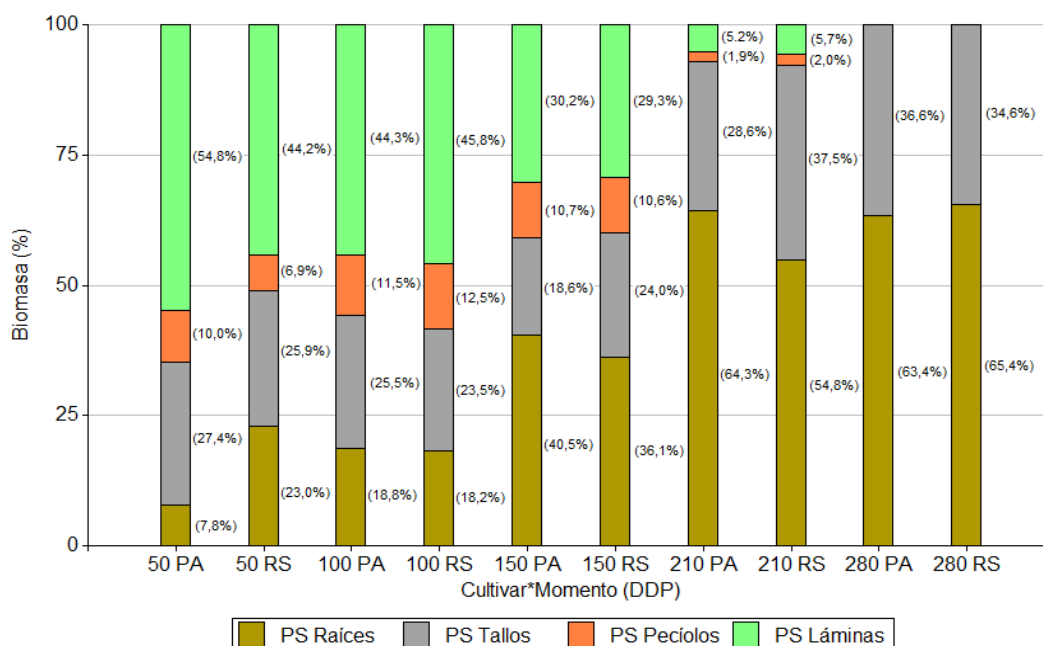


Figura 29. Partición de biomasa (en base seca) en raíces, tallos, pecíolos y láminas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (PA) y Rama Seda (RS), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

A los 150 DDP, hubo un comportamiento similar entre cultivares, en todos los sitios, observándose diferencias entre fracciones siendo mayor la biomasa aérea (tallos+láminas+pecíolos) que la radical (Figura 30 y 31). Sin embargo, entre cultivares, la materia seca acumulada en la fracción aérea fue superior en RS respecto a PA (Figura 30). En RS las diferencias entre fracciones fue más marcada (63,9% aérea vs. 36,1% radical), mientras que en PA fue menor (59,5% aérea vs. 40,5% radical). El cv. RS también produjo mayor PS Raíces aunque sin llegar a ser significativa la diferencia. A pesar de ello, al igual que en la campaña 2015-2016, la mayor partición hacia raíces observada en PA evidenció una mayor precocidad en la misma, ya que cambió el destino de la partición de la biomasa hacia la fracción radical anticipadamente respecto a RS.

Entre sitios se observaron diferencias significativas en PS Raíces ($p \leq 0,0127$) siendo significativamente superior en Loreto y Ensenada Grande respecto a Treviño (Figura 31).

A los 210 DDP, ambos cultivares cambiaron definitivamente el sentido de la partición de la biomasa tornándose como principales destinos las raíces, excepto RS en Treviño, donde el PS Aéreo fue superior a PS Raíces. En los restantes casos, la acumulación en las raíces fue de un 60% de la biomasa total producida (Figura 29), y la producción de biomasa en ambas fracciones fue significativamente superior en el cv. RS (Figuras 30 y 31).

Entre sitios, se pudo distinguir que la biomasa aérea de ambos cultivares fue significativamente superior en Loreto ($p \leq 0,0115$), sin embargo, en la fracción radical no se observaron diferencias con Ensenada Grande. En la serie Treviño fueron inferiores las biomazas de ambas fracciones. Respecto a la biomasa aérea ($p \leq 0,0004$) los valores observados para RS y PA, respectivamente, fueron de: 663,2 vs. 245,5 g en Loreto; 388,9 vs. 223,9 g en Ensenada Grande; y 293,4 vs. 146,9 g en Treviño. En cuanto a la biomasa radical ($p \leq 0,0115$) para RS y PA, respectivamente, fueron de: 721,9 vs. 467,3 g en Loreto; 711,3 vs. 398,4 g en Ensenada Grande; y 252,8 vs. 246,2 g en Treviño (Figura 31).

Por último, a los 280 DDP, el comportamiento observado también fue similar a la primera campaña. En ambos cultivares el destino prioritario de los asimilados fueron

las raíces (64,4%). En lo que respecta a biomasa aérea, se observó la pérdida total de las hojas, con lo cual la misma quedó representada en su totalidad por la biomasa de tallos. Por consiguiente, la biomasa aérea de ambos cultivares fue inferior respecto a la obtenida a los 210 DDP, en todos los sitios, y fue significativamente superior ($p \leq 0,0001$) en RS respecto a PA (339,8 vs. 139,5 g promedio). De igual modo, en la biomasa radical, RS fue significativamente superior ($p \leq 0,0015$) a PA, en todos los sitios, excepto en Treviño donde no presentaron diferencias significativas.

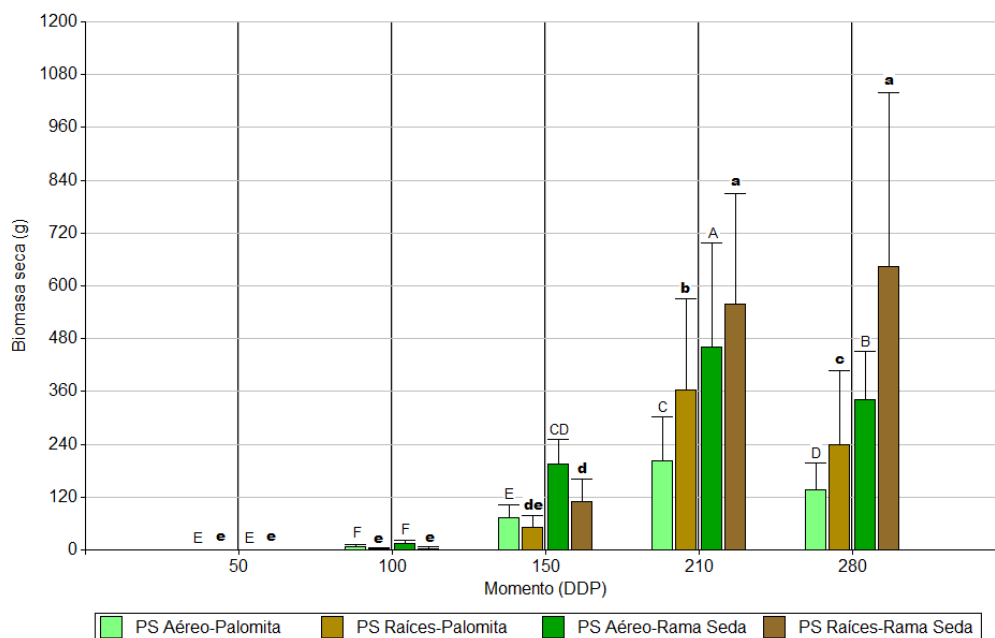
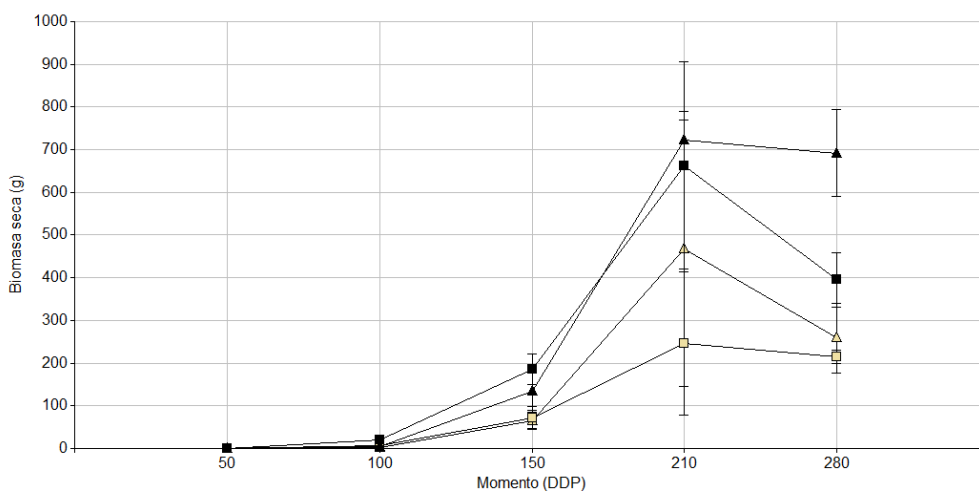
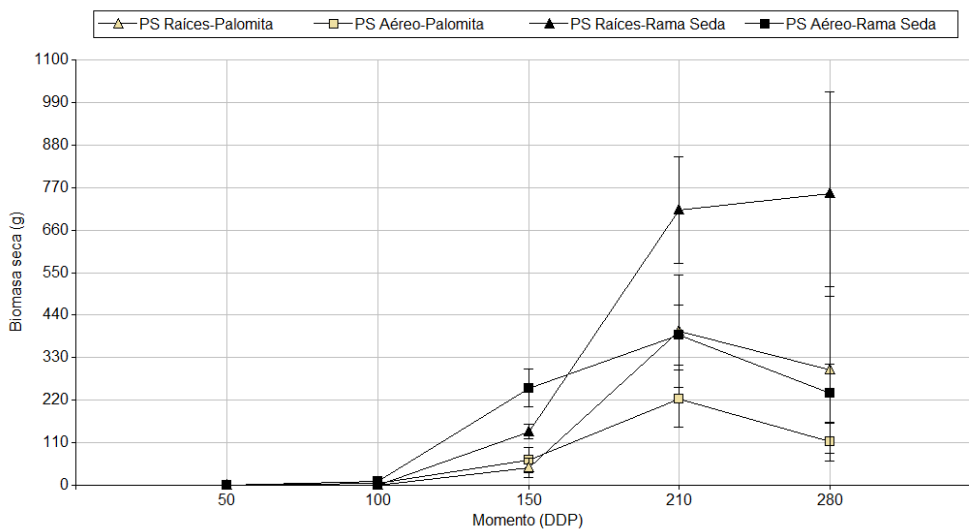


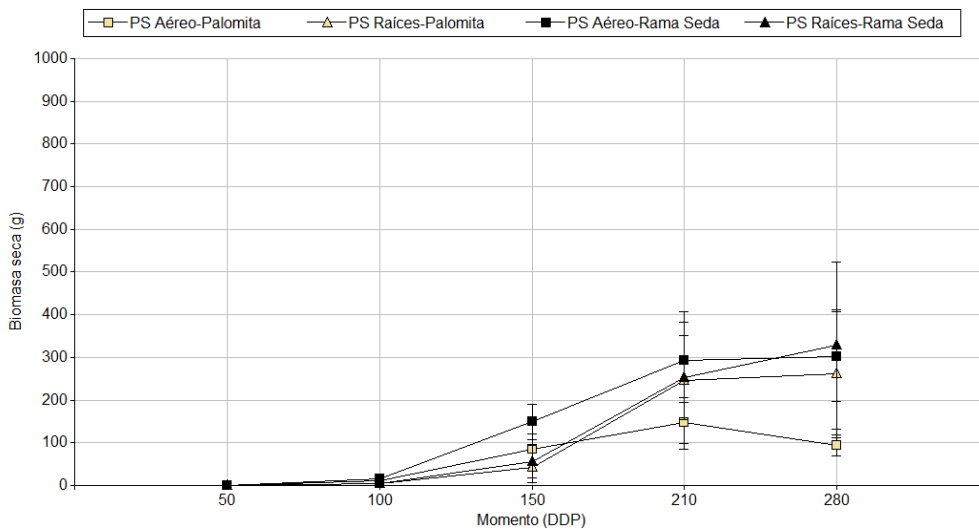
Figura 30. Partición de biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita (izquierda de línea de corte) y Rama Seda (derecha de línea de corte). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación. Letras mayúsculas y minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre cultivares en las fracciones aéreas y radicales, respectivamente, mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).



a)



b)



c)

Figura 31. Evolución de la biomasa (en base seca) en parte aérea y radical de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

III.3 Componentes del rendimiento

Al analizar los componentes del rendimiento (Tabla 3) no se observaron diferencias significativas entre las dos campañas durante las que se realizó la investigación, por lo cual los datos obtenidos en ambas fueron analizados conjuntamente. Para el análisis se tuvieron en cuenta sólo los datos obtenidos a los 280 DDP. Las excepciones fueron la evolución del número de raíces tuberosas y el índice de cosecha para los cuales se consideraron los datos obtenidos a partir de los 100 DDP, momento a partir del cual se inició la diferenciación de raíces tuberosas o tuberización.

Tabla 3. Componentes del rendimiento y la calidad de dos cultivares de mandioca (Rama Seda y Palomita) implantados en tres series de suelos del norte de Corrientes (Argentina), a los 280 días después de plantación (DDP).

Factores		Variables					
		NRT	PFRT	PSRT	PFRTi	PSRTi	IC
Cultivar	Palomita	7b*	1314,9b	393,6b	181,1a	54,4a	0,64a
	Rama Seda	12a	2167,3a	583,2a	202,8a	54,9a	0,64a
Sitio	Treviño	9a	1493,9b	426,9b	165,7b	48,3a	0,61b
	Ensenada Grande	9a	1687,8ab	518,5ab	185,8ab	57,8a	0,75a
	Loreto	10a	2041,6a	519,7 a	224,5 a	57,8a	0,60b
Sitio*Cultivar		0,5857**	0,1478	0,246	0,3341	0,6529	0,0005

Referencias: Número de raíces tuberosas por planta (NRT); Peso fresco de raíces tuberosas por planta (PFRT); Peso fresco individual de raíces tuberosas (PFRTi); Peso seco individual de raíces tuberosas (PSRTi); Índice de cosecha (IC). *Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$). **p-valor de la interacción.

III.3.1 Número de raíces tuberosas por planta

La diferenciación de raíces tuberosas comenzó a partir de los 100 DDP en ambos cultivares (sin diferencias significativas), y continuaron incrementándose con el tiempo. Esto concuerda con varios autores (Cock *et al.*, 1979; Keating *et al.*, 1982; Sangoi y Krause, 1993; Cadavid, 2002 y 2008; Mejía de Tafur, 2002) los cuales expresaron que a partir del tercer mes después de la plantación, las raíces comienzan a engrosar y acumular almidón hasta la cosecha, dando forma a las raíces tuberosas. En ese momento el cv. PA diferenció alrededor del 43% de las raíces que produjo durante el ciclo, mientras que RS un 33%.

Las diferencias entre cultivares comenzaron a ser evidentes a los 150 DDP, momento en el cual el cv. RS produjo 11 RT vs. 7 RT de PA (Figura 32). A partir de dicho momento el NRT diferenciadas por planta se mantuvo prácticamente constante hasta el final del ciclo en ambos cultivares. Esto se contrapone con lo mencionado por Burgos (2009), quien mencionó que PA continuó diferenciando raíces tuberosas hasta el final del ciclo. El máximo NRT en el cv. RS se obtuvo a los 280 DDP mientras que en PA se alcanzó a los 210 DDP.

Entre sitios no hubo diferencias significativas. Al no encontrarse diferencias entre sitios se podría suponer que el NRT por planta es una característica inherente al genotipo y sumamente estable ya que no hubo diferencias entre ambas campañas. Similares resultados obtuvieron Burgos (2009) y Fernández *et al.* (2000).

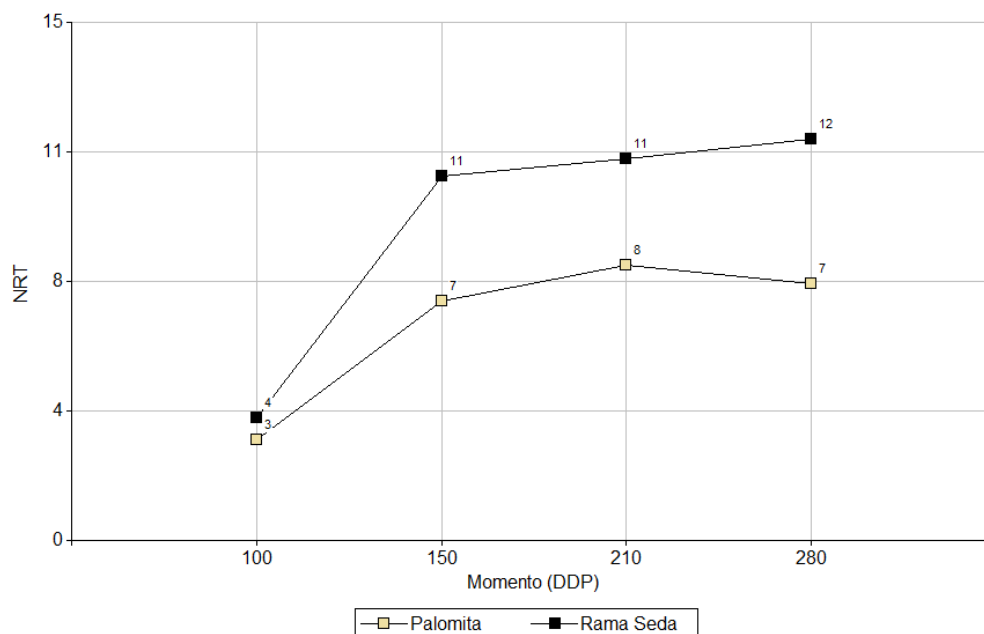


Figura 32. Evolución del número de raíces tuberosas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda, en Corrientes (Argentina). Campañas 2015/2016 y 2016/2017. DDP = días después de la plantación.

III.3.2 Peso fresco y seco de raíces tuberosas por planta y rendimiento de raíces tuberosas por hectárea

Respecto al PFRT se observaron diferencias significativas entre cultivares y entre sitios. Entre cultivares, RS fue significativamente superior ($p \leq 0,0001$) a PA con 2167,3 vs. 1314,9 g, lo que llevado a hectárea representó un rendimiento de 21,7 y 13,1 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 33). El PSRT fue de 583,2 g planta⁻¹ para el cv. RS, mientras que en PA fue de 393,6 g planta⁻¹ (5,8 vs. 3,9 t ha⁻¹). El PSRT de PA fue aproximadamente la mitad al informado por Burgos (2009) para el mismo cultivar, aunque en dicho trabajo se realizó la aplicación de fertilizantes con el fin de que el cultivo se desarrolle sin limitaciones nutricionales.

Entre sitios, la serie Loreto presentó mayor PFRT (2041,6 g) diferenciándose significativamente ($p \leq 0,0434$) de Treviño (1493,9 g). La serie Ensenada Grande no presentó diferencias significativas respecto del resto de los sitios evaluados (Figura 34).

El mayor rendimiento de RT encontrado en el cv. RS, especialmente en los sitios Loreto y Ensenada Grande estaría explicado por el mayor PS Aéreo obtenido en esos casos particulares, lo cual generaría una mayor producción de asimilados para ser translocados hacia las raíces (fue mayor la actividad de la fuente). Además, en el caso del cv. RS se adicionó el efecto generado por un mayor NRT característico de este cultivar. Esto coincide con Souza (2006) quien mencionó que la acumulación de biomasa depende de la disponibilidad de fotoasimilados, actividad de la fuente (fracción aérea) y de la capacidad de translocación hacia los órganos de reserva (fuerza del destino). El número de raíces tuberosas determina a su vez la capacidad del destino.

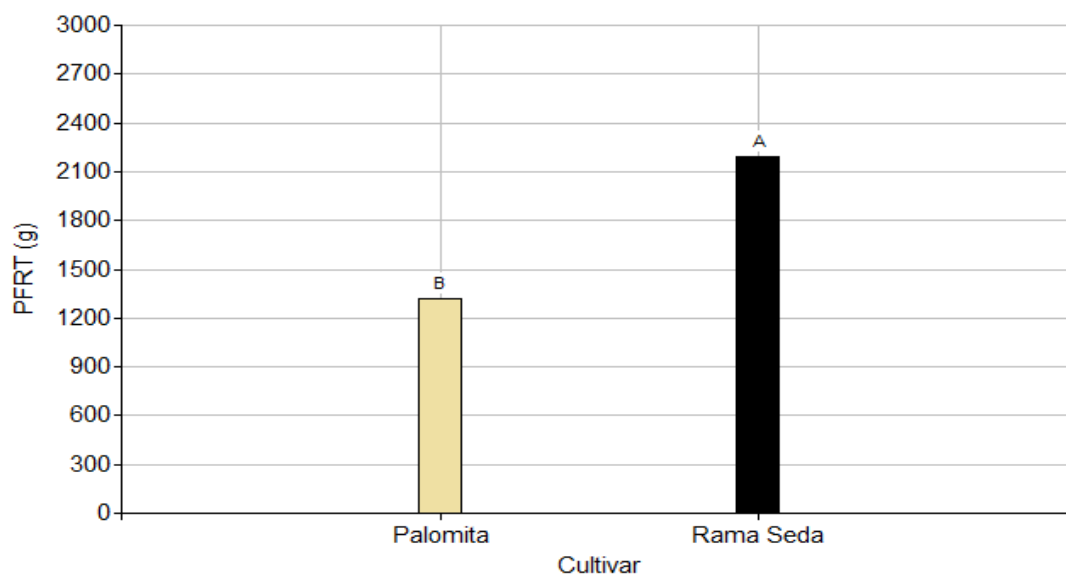


Figura 33. Peso de raíces tuberosas por planta (expresada en base fresca) de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda. Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

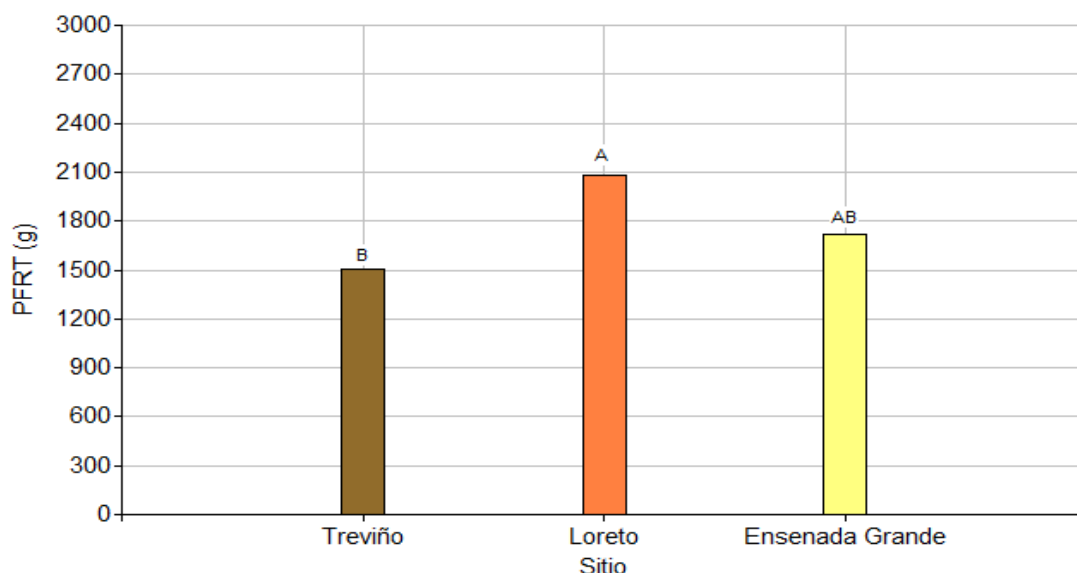


Figura 34. Peso de raíces tuberosas por planta (expresada en base fresca) de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*): Palomita y Rama Seda, en tres series de suelo (Ensenada Grande, Loreto y Treviño) de Corrientes (Argentina).

III.3.3 Índice de cosecha

Respecto al IC, se observó interacción cultivar*sitio. En la serie Ensenada Grande se alcanzó el mayor IC (0,75) sin presentarse diferencias significativas entre cultivares (Figura 35 y Tabla 3). Esto ocurrió ya que a pesar de no ser el sitio donde se produjo el mayor PSRT, el PS Aéreo generado fue marcadamente menor a la de los demás sitios, generando un IC más alto. Por otro lado, en la serie Loreto, se observó un IC superior en RS (0,63 vs. 0,56), mientras que en Treviño fue a la inversa. Esto se debió a que en Loreto el PSRT del cv. RS fue significativamente mayor al de PA (663,98 vs. 375,41 g; $p \leq 0.0101$), mientras que en el PS Aéreo fue menor la diferencia (394,9 vs. 215,4 g). En la serie Treviño, ocurrió completamente lo contrario. No hubo diferencias significativas en el PSRT entre cultivares (462,41 vs. 391,52 g para RS y PA, respectivamente) mientras que el PS Aéreo de RS fue aproximadamente el triple

(314,42 vs. 98,51 g), ocasionando que en este sitio el IC fuese mayor en PA. Estos resultados podrían sugerir una mayor eficiencia y plasticidad de PA ya que produjo PSRT similares en ambos sitios, a pesar de haber generado una significativa menor biomasa aérea en Treviño.

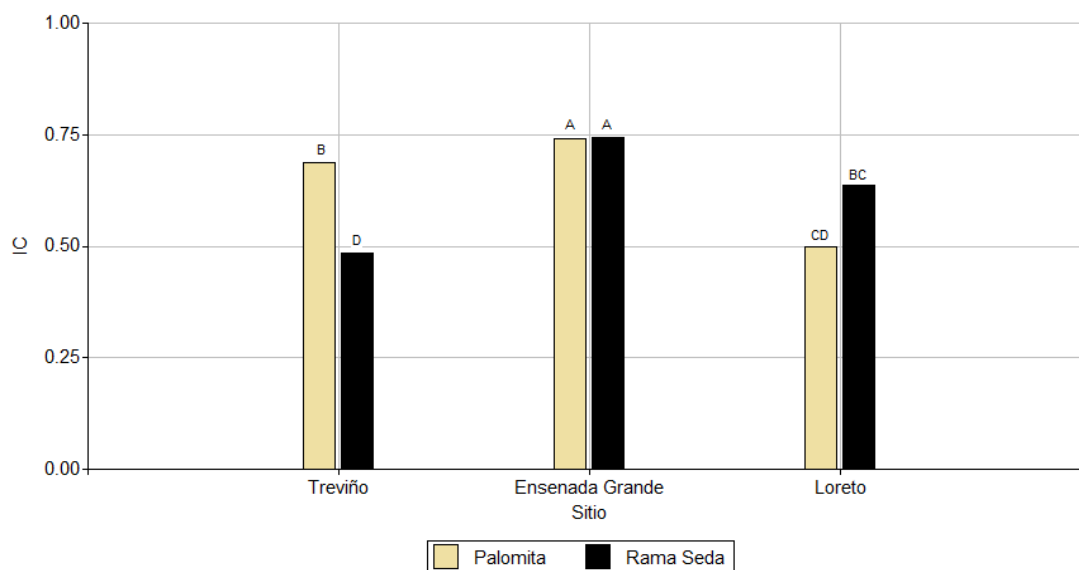


Figura 35. Índice de cosecha de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*) en tres series de suelo (Ensenada Grande, Loreto y Treviño) de Corrientes (Argentina).

III.3.4 Contenido de Almidón

El contenido de almidón es una característica de gran valor para evaluar a las raíces tuberosas de mandioca, ya sea tanto por su calidad culinaria como industrial.

En este estudio se observaron resultados dispares entre campañas.

En la campaña 2015-2016, hubo interacción cultivar*sitio. En todos los sitios PA obtuvo un %Almidón superior a RS, aunque sin presentar diferencias significativas excepto en la serie Ensenada Grande. En dicho sitio el %Almidón de PA fue significativamente superior al de RS (33,8 vs. 30,4%, $p \leq 0,0024$).

En la campaña 2016-2017 se observaron diferencias significativas entre sitios ($p \leq 0,0181$). En las series Treviño y Ensenada Grande el %Almidón fue significativamente superior a Loreto (30 vs. 25%). Entre cultivares no se observaron diferencias significativas.

La explicación de estos resultados podría deberse a las diferencias encontradas en el PS Aéreo. Según Ternes (2002), la característica inherente al cultivo de mandioca de promover el crecimiento simultáneo de la parte aérea y el engrosamiento de las raíces lleva a que haya competencia por la utilización o almacenamiento de carbohidratos entre ambas fracciones. Para que puedan crecer simultáneamente debe haber un balance entre ambas. Si se ve favorecido el crecimiento de la parte aérea, no habrá carbohidratos suficientes que permitan la acumulación de almidón en las raíces de reserva. Ternes (2002) en el sur de Brasil, con latitudes similares a este ensayo, observó que la acumulación de almidón es inversa al crecimiento de la parte aérea y, cuando el porcentaje de hojas se reduce al mínimo (mayo a julio), la concentración de almidón en raíces tuberosas es máxima.

En este estudio, en la campaña 2015-2016, en la serie Ensenada Grande el PS Aéreo fue significativamente inferior a los demás sitios y la partición hacia raíces fue superior lo cual pudo haber repercutido directamente en el %Almidón. A su vez, entre cultivares, como se mencionó en el apartado III.3.3 Índice de cosecha, el cv. PA presentó una mayor plasticidad y eficiencia productiva respecto a RS particionando

mayor cantidad de asimilados hacia las raíces en las diferentes condiciones ambientales a las que fue sometida. En la campaña 2016-2017, en la serie Loreto se produjo significativamente mayor PS Aéreo que en los demás sitios concentrando menor almidón en raíces.

III.3.5 Relaciones entre variables del cultivo

Según los resultados obtenidos en el análisis de correlación (Tabla 4) se pudo corroborar, como se mencionó en el apartado III.3.2 Peso fresco y seco de raíces tuberosas por planta y rendimiento de raíces tuberosas por hectárea, que el mayor PSRT obtenido en el cv. RS especialmente en las series Loreto y Ensenada Grande se debió a la correlación positiva PS Aéreo (fuente) y el NRT (fuerza de destino). Además, se observó una correlación positiva con PS Planta. Esto coincide con El-Sharkawy (1993) y Burgos (2009) quienes afirmaron que existen correlaciones positivas entre el PSRT (por consiguiente, también rendimiento), la biomasa total de la planta y el número de raíces tuberosas.

Por otro lado, se corroboró también la correlación negativa del IC con PS Aéreo, y su correlación positiva con el PSRT y PSRTi, confirmando los resultados descriptos en el apartado III.3.3 Índice de cosecha.

Por último, no se pudo confirmar la relación entre PS Aéreo y el %Almidón, que fue descrita en III.3.4 Contenido de almidón, ya que en el análisis realizado no hubo correlación de este último con ninguna de las variables estudiadas relacionadas al cultivo.

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la biomasa seca de la planta (PS Planta), biomasa aérea (PS Aéreo), de raíces tuberosas (PSRT), peso seco individual de raíces tuberosas (PSRTi), el número de raíces tuberosas por planta (NRT), el índice de cosecha (IC) y el contenido de almidón (%almidón) para dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*), Palomita y Rama Seda, a los 280 días después de plantación (DDP).

	PSPlanta	PSAéreo	PSRT	PSRTi	NRT	IC	%Almidón
PSPlanta	1	0,0000	0,0000	0,0032	0,0000	0,6060	0,8056
PSAéreo	0,8461	1	0,0000	0,1689	0,0000	0,0064	0,6839
PSRT	0,9525	0,6533	1	0,0005	0,0000	0,0190	0,5516
PSRTi	0,4342	0,2111	0,5065	1	0,0455	0,0126	0,2695
NRT	0,6702	0,6223	0,6015	-0,3031	1	0,3728	0,5937
IC	0,0799	-0,4050	0,3522	0,2733	-0,1377	1	0,0129
%Almidón	0,0600	-0,0631	0,0922	0,1702	0,0827	0,3719	1

III.4 Absorción de macronutrientes

III.4.1 Dinámica de la absorción y partición de macronutrientes

En ambas campañas la absorción de macronutrientes presentó una estrecha relación con la dinámica de producción y partición de biomasa. Dicho comportamiento coincide con Hillocks *et al.* (2002); Riaño *et al.* (2004); Cadavid (2004) y Silva *et al.* (2014) quienes mencionaron que la absorción y distribución de nutrientes están estrechamente relacionados con la tasa de crecimiento y la distribución de la biomasa, las cuales dependen de la oferta ambiental y de las propiedades físico-químicas del suelo.

Campaña 2015-2016

La dinámica de absorción fue similar en ambos cultivares. Hasta los 100 DDP, la tasa de absorción fue baja o lenta. Entre los 100 y 210 DDP se dieron las tasas máximas de absorción para la mayoría de los macronutrientes y, excepto P, todos fueron absorbidos en menor medida hacia el final del ciclo, cuando la planta entró en fase de reposo. El comportamiento observado coincide con varios autores (Howeller y Cadavid, 1983; Cadavid, 2002 y 2008; De Diego y Quirós, 2006; Furcal-Beriguete *et al.*, 2009) quienes mencionaron que la planta logra un incremento en la concentración de nutrientes después de los dos meses, con una tasa de absorción máxima entre los 120 y 150 DDP, coincidiendo siempre con la tasa máxima de producción de biomasa seca (en este estudio PS Planta). Después de los cinco meses, comienza a descender la tasa de absorción de la mayoría de los nutrientes.

La concentración máxima de N, K y Ca se produjo a los 210 DDP. En el caso del Mg, la máxima concentración se produjo a los 150 DDP, durante la fase de crecimiento de tallos y hojas. En el caso del P se dio a los 280 DDP.

Analizando cada nutriente en particular se observó lo siguiente.

En el caso del N, a los 50 DDP, fue mayor la partición hacia láminas (59,8%). A los 100 DDP, los destinos prioritarios continuaron siendo las láminas, aunque aumentó la partición hacia raíces (Figura 36). Hasta esta fase su tasa de absorción fue baja (Figura 37).

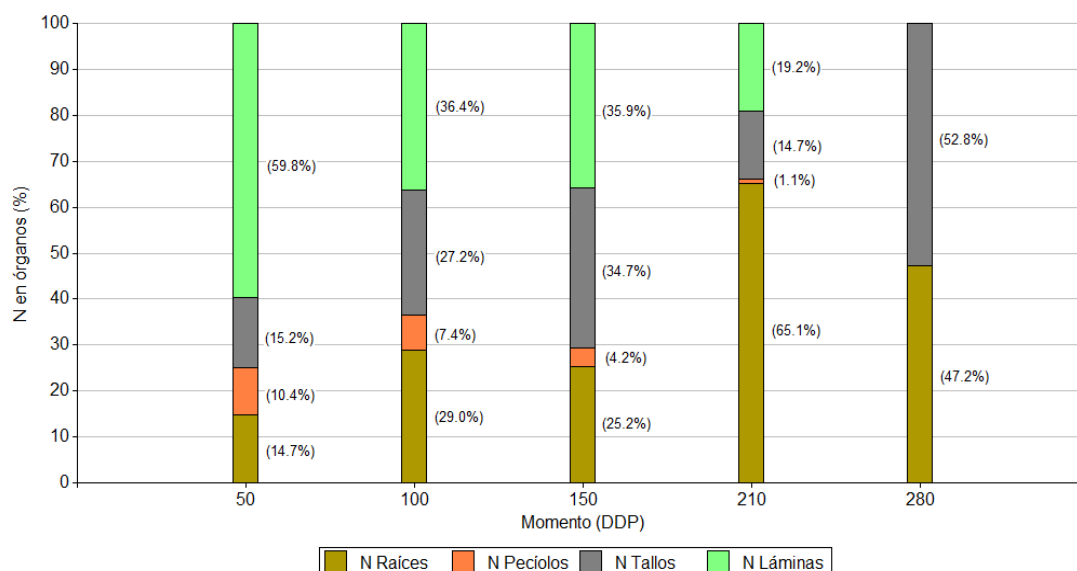
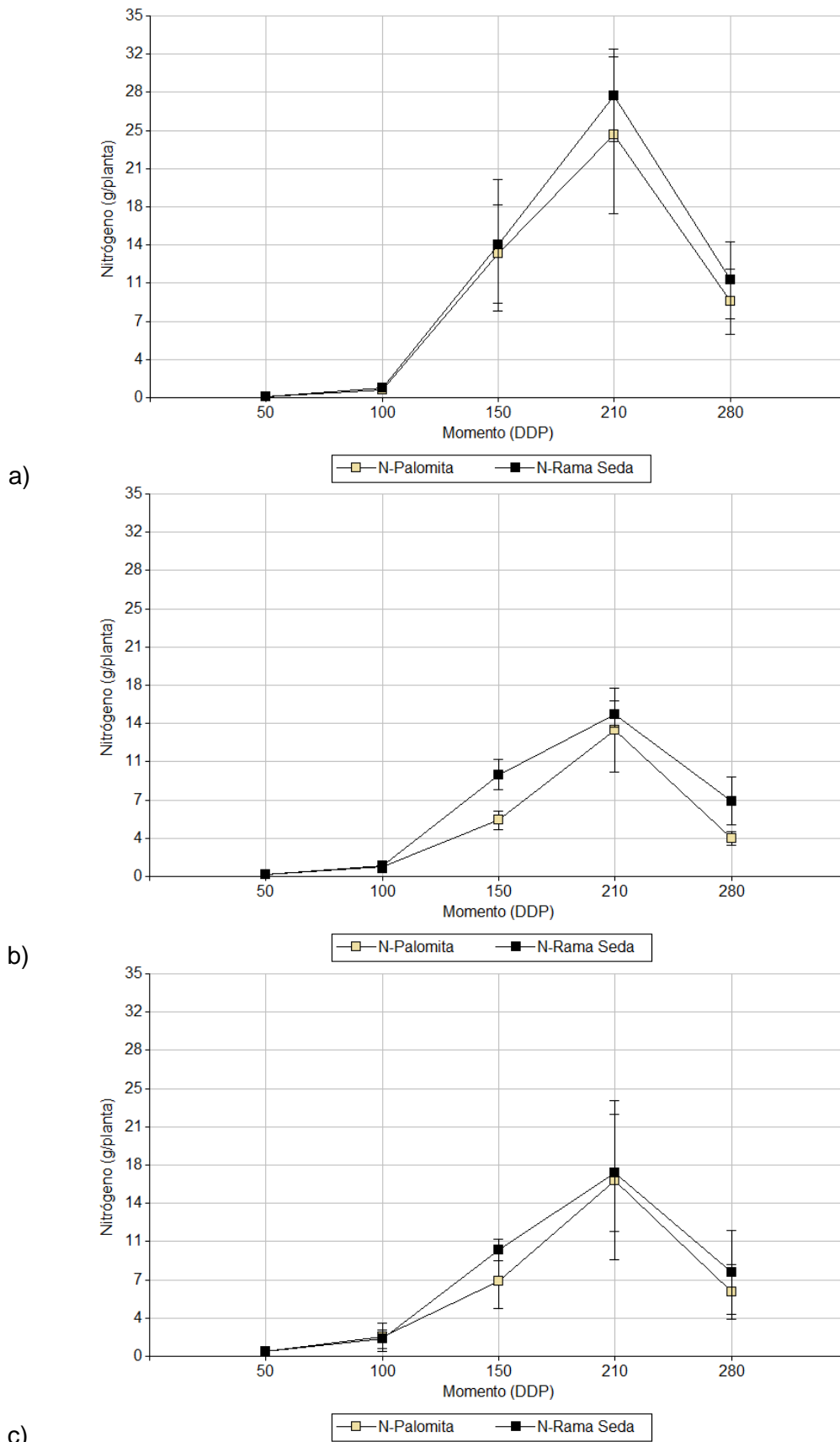


Figura 36. Partición del nitrógeno absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.



c)
 Figura 37. Dinámica de la absorción de nitrógeno en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Según lo descrito en el apartado I.1.4. Fases fenológicas del cultivo, a los 100 DDP las plantas se encontraban en las fases de brotación de estacas desplegando las primeras hojas y formando un incipiente sistema radical fibroso. La máxima tasa de absorción se observó entre los 100 y 150 DDP en el cv. RS, mientras que en PA se la observó entre los 150 y 210 DDP, excepto en Loreto (Figura 37). En dicho período, la partición fue superior hacia la parte aérea, acumulándose principalmente en láminas y tallos. Esto coincide con Orioli (1967) que, en Corrientes, encontró similar comportamiento en el cultivar Catiguá Guazú, excepto que en su caso la acumulación en tallos fue baja. A los 210 DDP se alcanzó la máxima concentración de N en planta, en ambos cultivares, dirigiéndose en mayor medida hacia la fracción radical (65% del N total). Los valores observados para los cultivares RS y PA fueron: 27,7 vs. 24,1 g planta⁻¹; 14,9 vs. 13,4 g planta⁻¹ y 16,8 vs. 16,1 g planta⁻¹, en las series Loreto, Ensenada Grande y Treviño, respectivamente. El incremento en la partición hacia raíces se debió al cambio en las prioridades de los destinos de los asimilados, ya que en dicho momento la planta se encontraba en la fase de engrosamiento de raíces tuberosas. Los resultados observados coinciden con los hallados por Howeller y Cadavid (1983) y Rodríguez *et al.* (2009) los cuales reportaron mayor contenido de N en raíces en el momento de máxima concentración en planta. Al final del ciclo (fase de reposo) se observó una partición balanceada de N entre tallos y raíces, aunque fue mayor en el primero.

Por otro lado, entre sitios, se observó la existencia de interacción sitio*momento ($p \leq 0,0001$). A partir de los 150 DDP, la concentración en Loreto fue significativamente mayor ($p \leq 0,0007$) por presentar mayor PS Planta. En todos los sitios, la máxima concentración se registró a los 210 días, siendo significativamente superior a los demás momentos ($p \leq 0,0001$) (Figura 38).

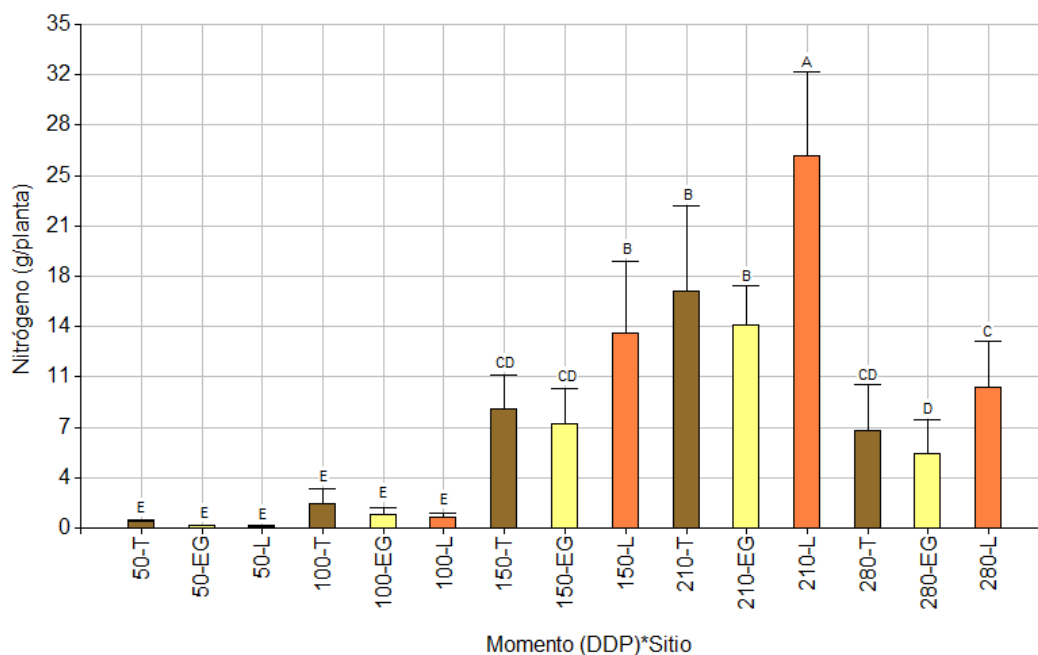


Figura 38. Absorción de nitrógeno (g planta⁻¹) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Respecto al P, hasta los 100 DDP el destino principal fueron láminas y tallos. Entre los 100 y 210 DDP, la partición fue mayor hacia tallos (60%) (Figura 39). A los 280 DDP, se alcanzó el momento de máxima concentración en plantas en ambos cultivares en todos los sitios, excepto en Treviño (Figura 40), observándose un cambio marcado en el sentido de la partición hacia las raíces tuberosas (86%), coincidiendo con lo reportado por Howeller (2002). Excepto en Treviño, el período de máxima tasa de absorción para ambos cultivares se observó a los 100-150 DDP, concordando con lo descrito por Orioli (1967).

Por otro lado, se observaron interacciones significativas momento*cultivar ($p \leq 0,0403$) y momento*sitio ($p \leq 0,0185$). Entre cultivares, se observaron diferencias significativas a partir de los 150 DDP, siendo superior en RS (Figura 41).

Entre sitios, tanto en la serie Loreto ($0,75 \text{ g planta}^{-1}$) como en Ensenada Grande ($0,55 \text{ g planta}^{-1}$), la concentración fue significativamente mayor a los 280 DDP. En Treviño fue mayor a los 210 DDP con $0,63 \text{ g planta}^{-1}$, aunque sin presentar diferencias con lo observado a los 280 DDP (Figura 42). La dinámica de absorción observada siguió el patrón de lo ocurrido en plantas, donde el P continuó acumulándose hasta el final del ciclo y lo hizo en mayor proporción en raíces.

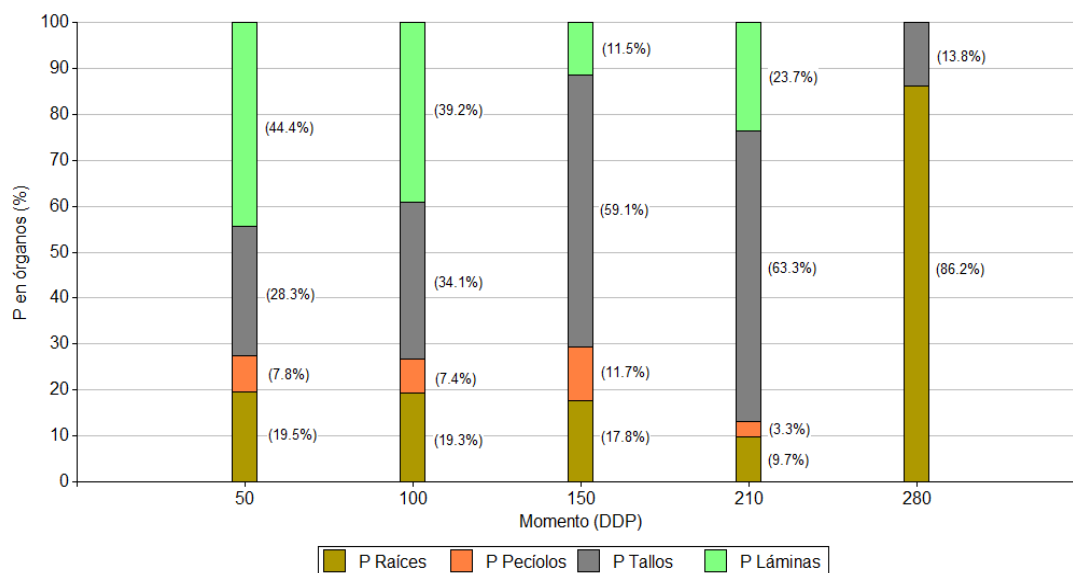


Figura 39. Partición del fósforo absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

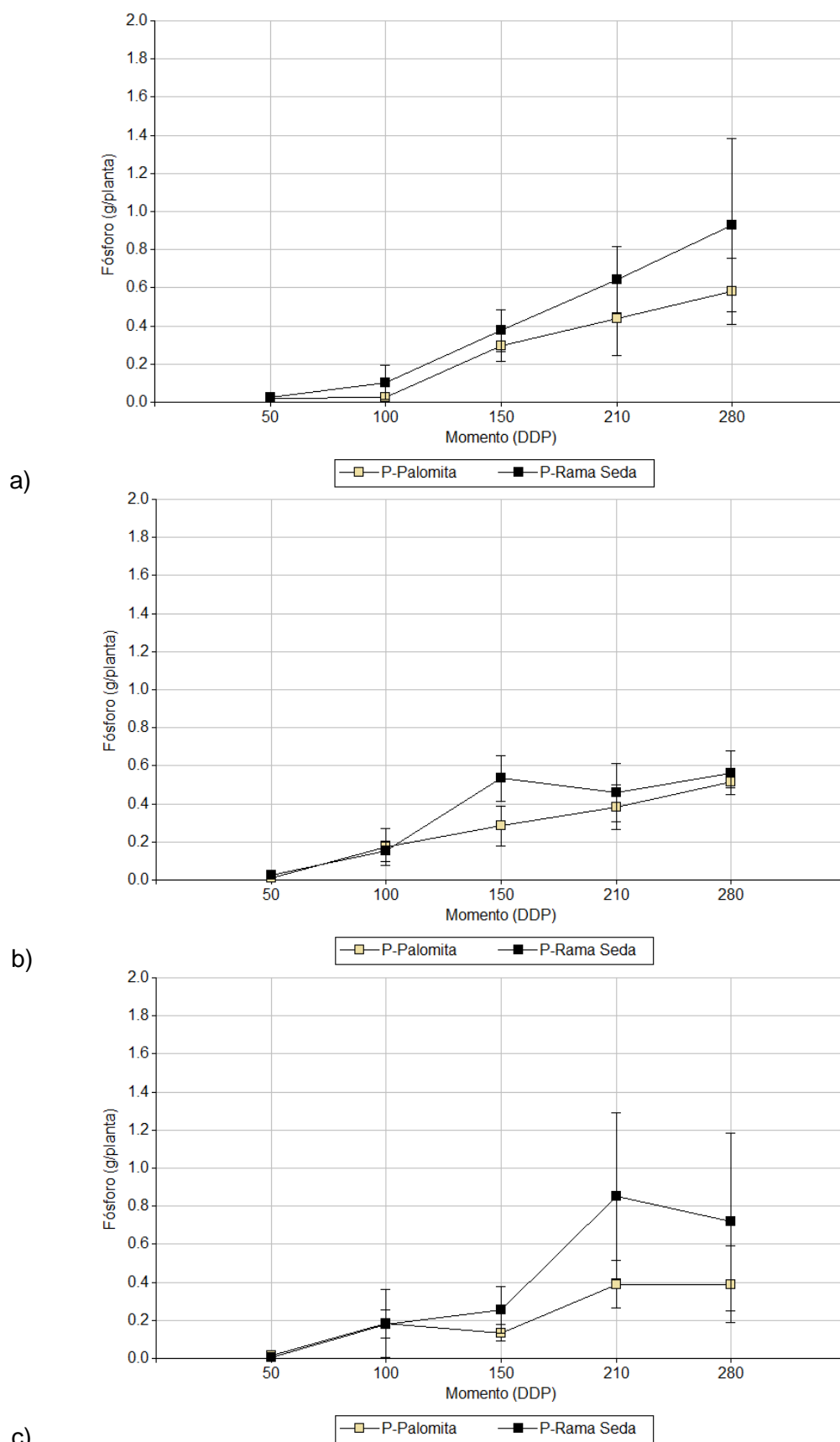


Figura 40. Dinámica de la absorción de fósforo en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

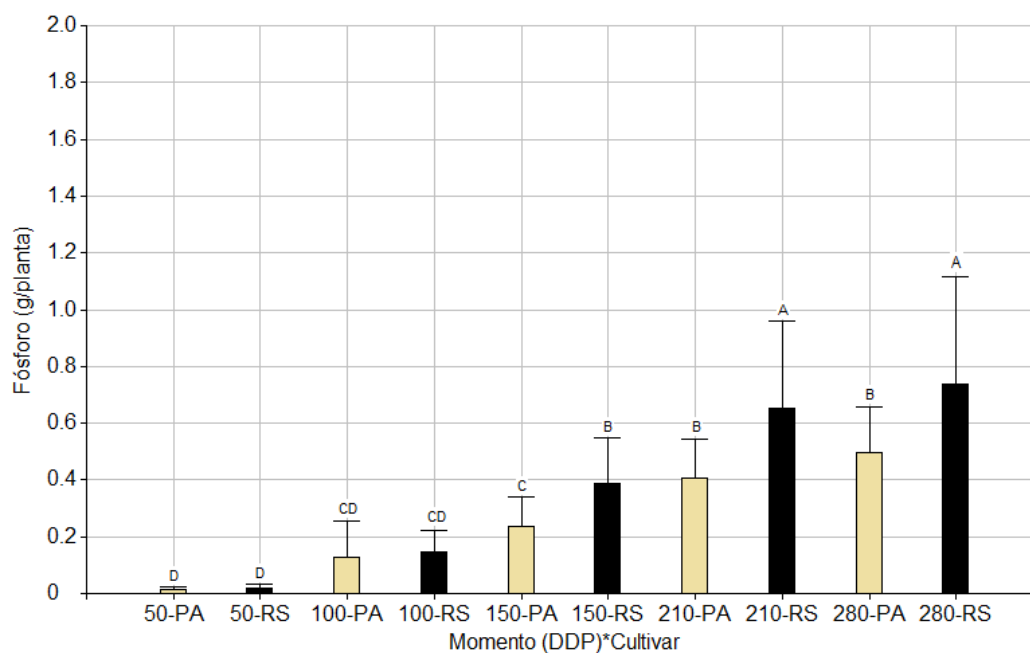


Figura 41. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

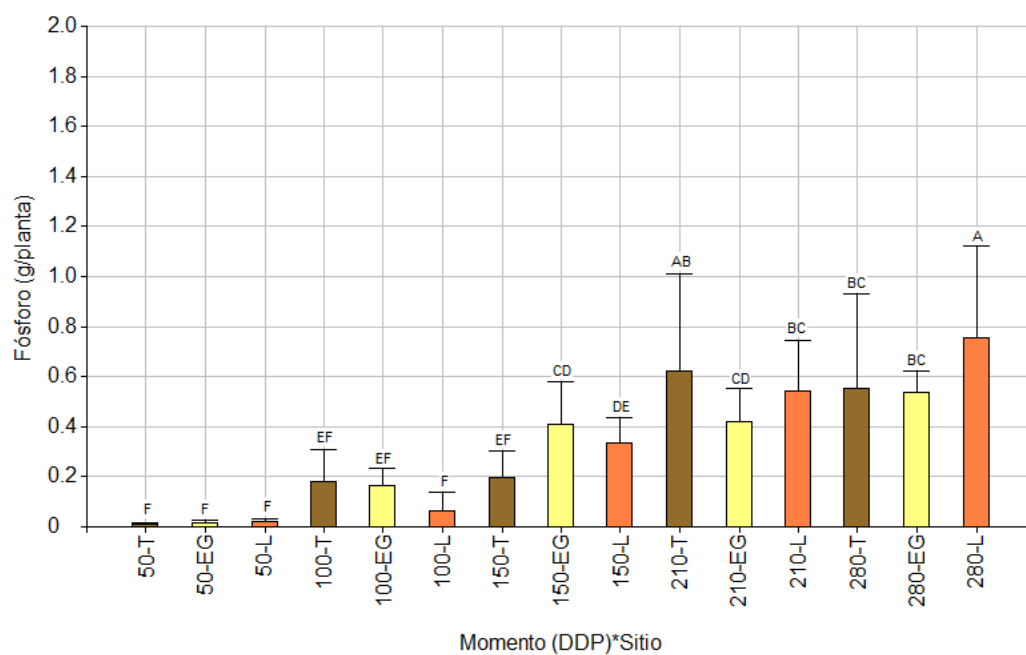


Figura 42. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Respecto al K, hasta los 100 DDP fue mayor la partición hacia las láminas (Figura 43). Entre los 100 y 150 DDP fue superior en tallos (42,8%). Entre los 150 y 210 DDP se observó un cambio en el destino de la partición hacia las raíces, hallándose en dicho período su mayor tasa de absorción (Figura 44). A los 210 DDP se observó el máximo contenido de K en la planta, en ambos cultivares, en todos los sitios, con una partición de 56,9% hacia la parte radical y 43,1% hacia la parte aérea. La máxima diferencia entre fracciones se encontró a los 280 DDP, dirigiéndose en un 90% hacia las raíces. Resultados similares fueron hallados por Howeller y Cadavid (1983) y Rodríguez *et al.* (2009) quienes indicaron que el destino prioritario para dicho nutriente al momento de cosecha fueron las raíces tuberosas.

Se observaron interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0002$) y momento*sitio ($p \leq 0,0001$). Entre cultivares se observaron diferencias significativas a partir de los 210 DDP siendo superior en RS respecto a PA (Figura 45), con valores de 21,8 vs. 15,9; 12 vs. 8,3 y 12 vs. 9,3 g planta⁻¹ en Loreto, Ensenada Grande y Treviño, respectivamente. Entre sitios, la acumulación fue significativamente mayor a los 210 DDP, siendo superior en Loreto debido al mayor PS Raíces manifestado (Figura 46).

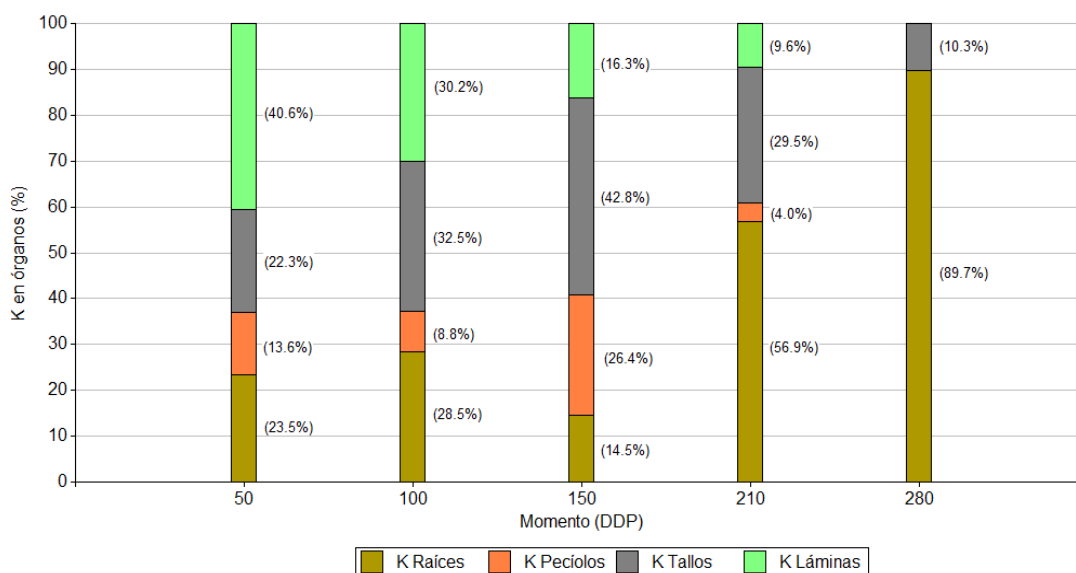
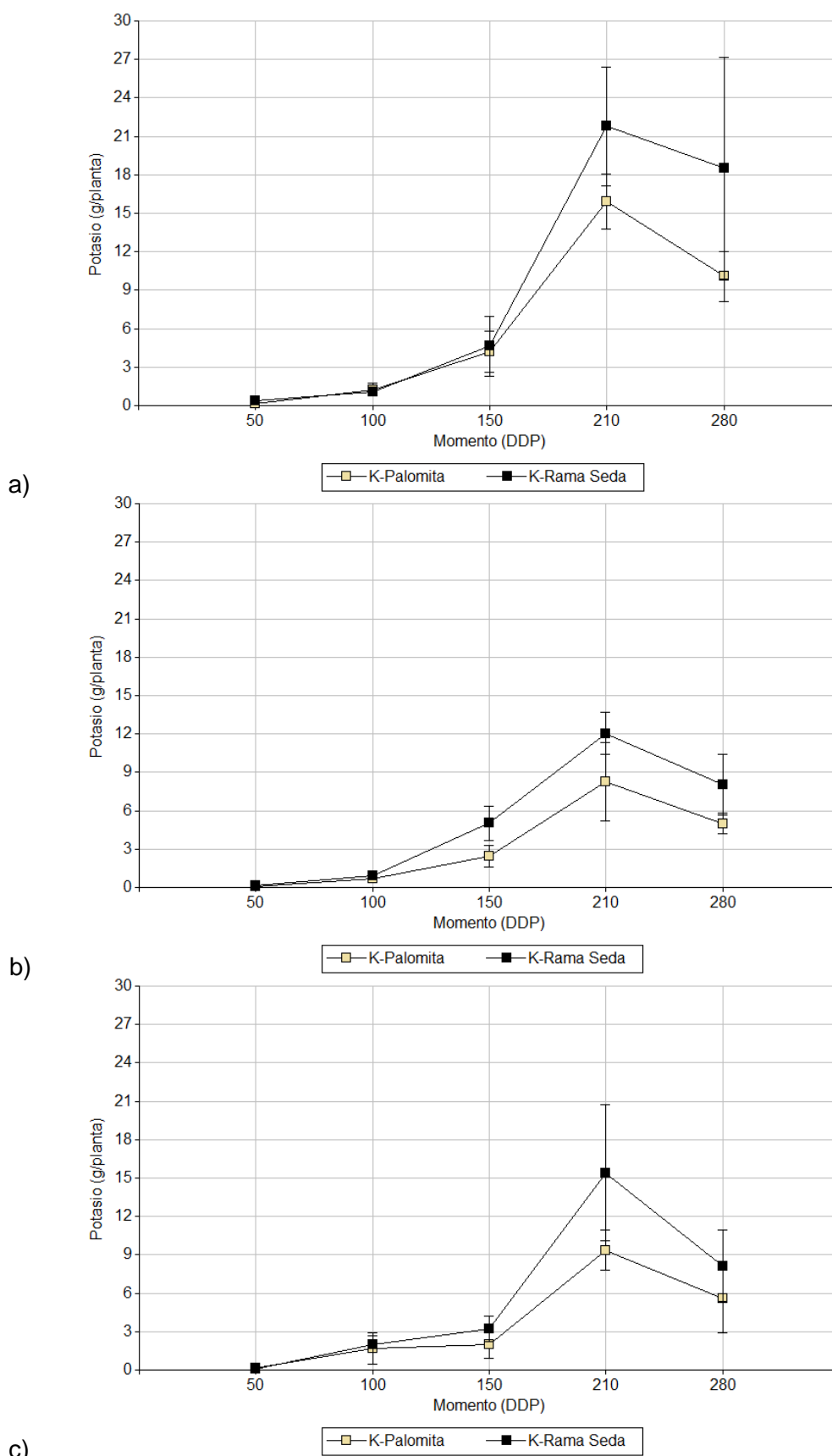


Figura 43) Partición del potasio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.



c)
 Figura 44. Dinámica de la absorción de potasio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

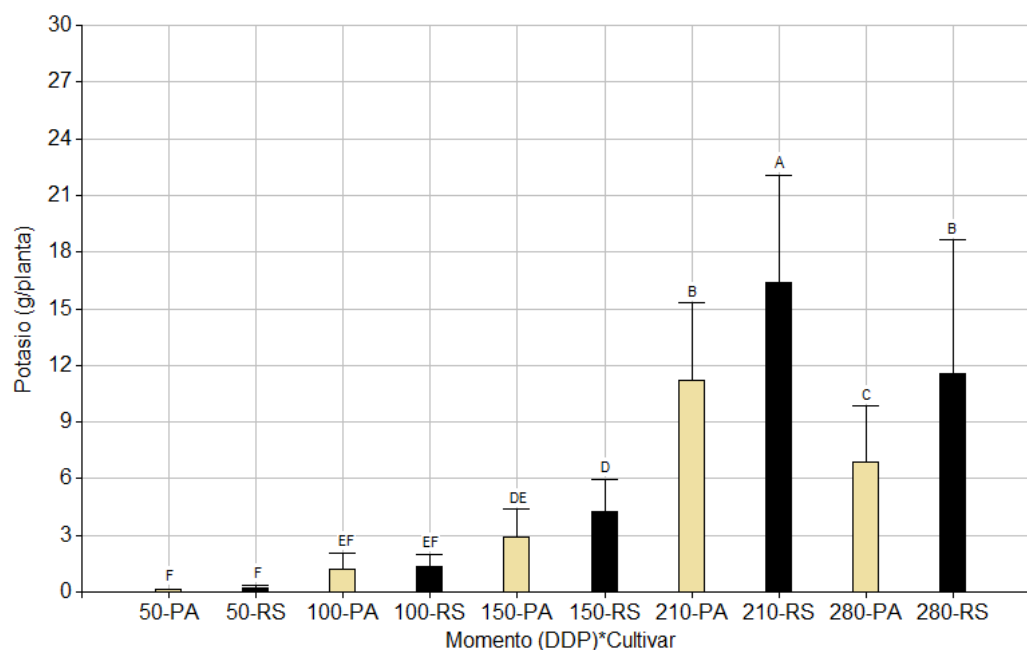


Figura 45. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

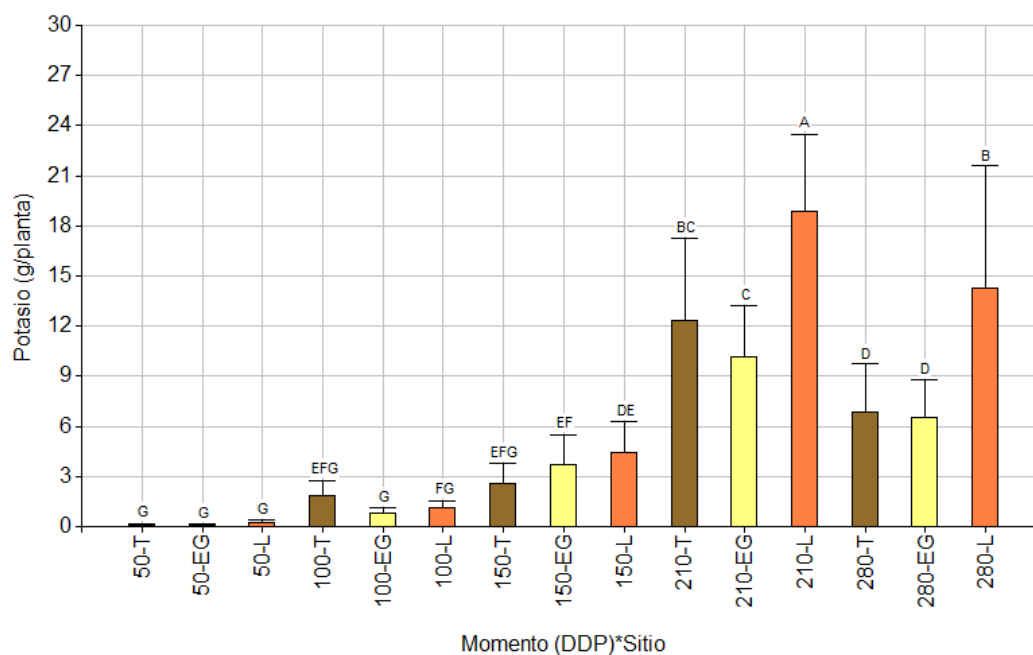


Figura 46. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

En el caso del Ca, a los 50 DDP, el 46,8% se acumuló en láminas, seguidas por raíces 26,8%, tallos 17% y pecíolos 9,4% (Figura 47). Luego, entre los 100 y 150 DDP, fue mayor la partición hacia tallos (34,4%). En dicho período fue máxima la tasa de absorción para ambos cultivares, en la mayoría de los sitios, excepto PA en Treviño donde se presentó entre los 150 y 210 DDP (Figura 48). A partir de los 210 DDP, aumentó la concentración en raíces representando un 43,7% del Ca total absorbido por la planta, mientras que el contenido en tallos comenzó a disminuir. Sin embargo, la partición continuó siendo superior hacia la fracción aérea. Howeller y Cadavid (1983) y Rodríguez *et al.* (2009) observaron un comportamiento similar, reportando una mayor concentración en la fracción aérea. Sin embargo, en sus respectivos estudios observaron mayor cantidad de Ca en los tallos en el momento de mayor concentración en la planta, mientras que en este estudio se observó que la misma fue superior en raíces. En la fase de reposo, la concentración se redujo notablemente y ambas fracciones presentaron similares cantidades del nutriente.

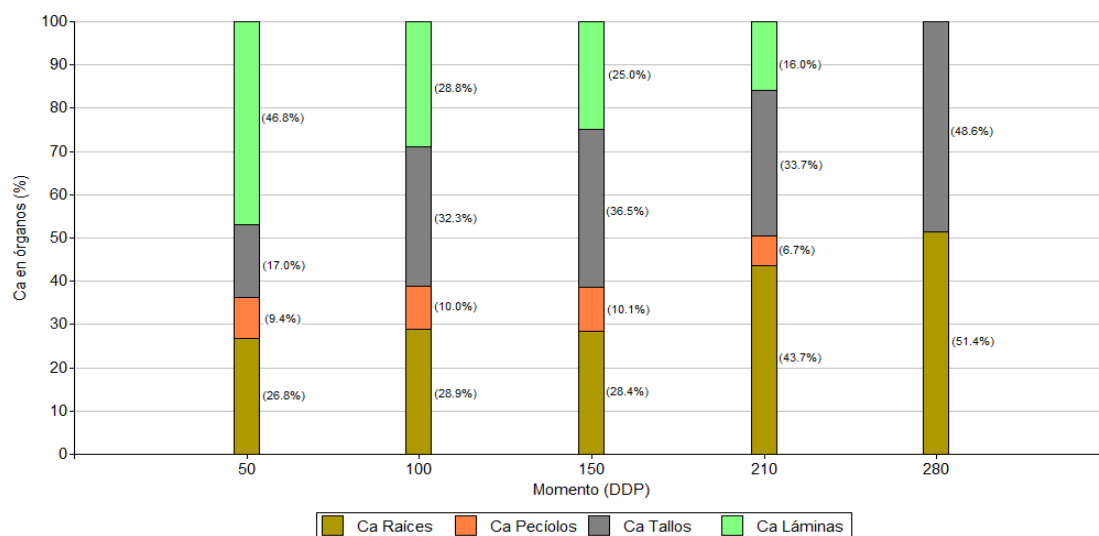
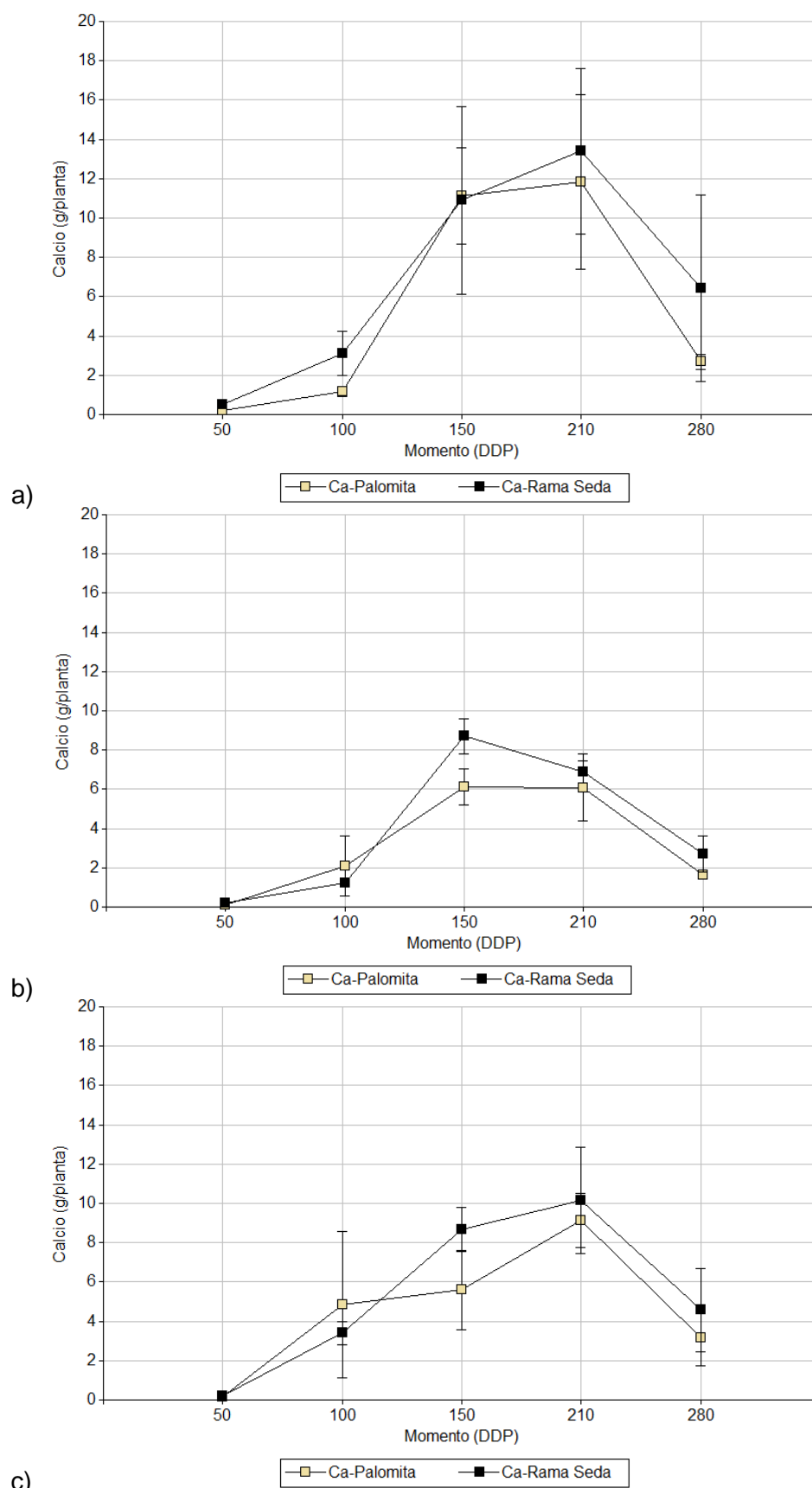


Figura 47. Partición del calcio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, se observó interacción momento*sitio ($p \leq 0,0004$). El momento de máxima concentración se dio a los 210 DDP en las series Loreto y Treviño (coincidiendo con lo ocurrido en plantas), siendo ambas significativamente superiores a la evidenciada en Ensenada Grande (Figura 49). En este último sitio, la misma ocurrió a los 150 DDP, aunque sin diferenciarse estadísticamente con la observada a los 210 DDP. El patrón de absorción de Ca observado entre los sitios estaría explicado por las diferencias en el PS Aéreo, la cual a los 210 DDP fue el destino prioritario y fue significativamente superior ($p \leq 0,0224$) en las series Loreto y Treviño respecto a Ensenada Grande.



c)
 Figura 48. Dinámica de la absorción de calcio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

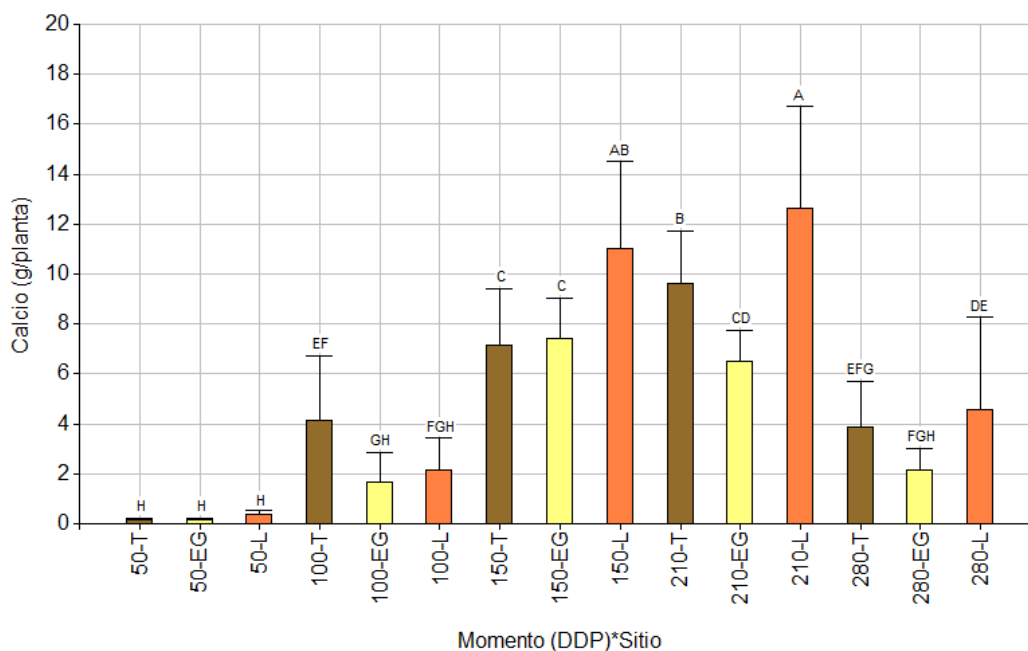


Figura 49. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

El Mg tuvo un comportamiento similar al Ca. Comenzó con una mayor distribución hacia láminas (47,7%), seguida por raíces y tallos (Figura 50). Luego, entre los 100 y 150 DDP fue superior la partición hacia tallos (36%) seguido por láminas, ya que las plantas se encontraban en fase de crecimiento de tallos y hojas. En dicho período se observó la tasa máxima de absorción para ambos cultivares, en todos los sitios (Figura 51). A los 150 DDP, se observó la máxima concentración de Mg en plantas en ambos cultivares, hallándose valores para RS y PA de: 9,8 vs. 10,1 g planta^{-1} ; 7,7 vs. 5,9 g planta^{-1} y 6,5 vs. 4,8 g planta^{-1} , en Loreto, Ensenada Grande y Treviño, respectivamente. A los 210 DDP, coincidiendo con la fase de engrosamiento de raíces, se dio un cambio abrupto en la partición de Mg concentrándose un 70% en las mismas, a la vez que disminuyó notoriamente su partición a tallos. Al final del ciclo los valores se equipararon en ambas fracciones (45% en raíces vs. 55% en tallos).

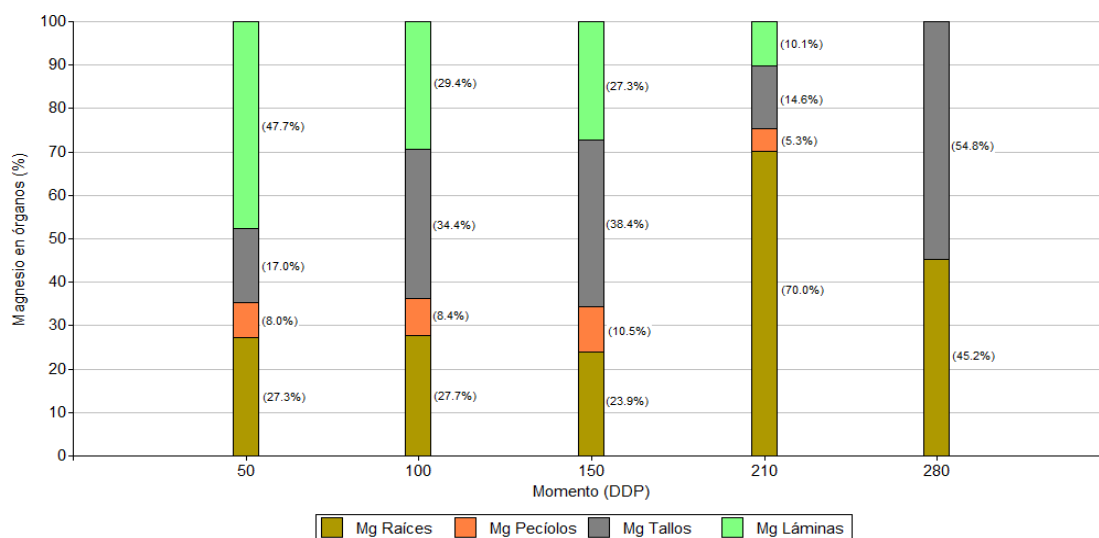
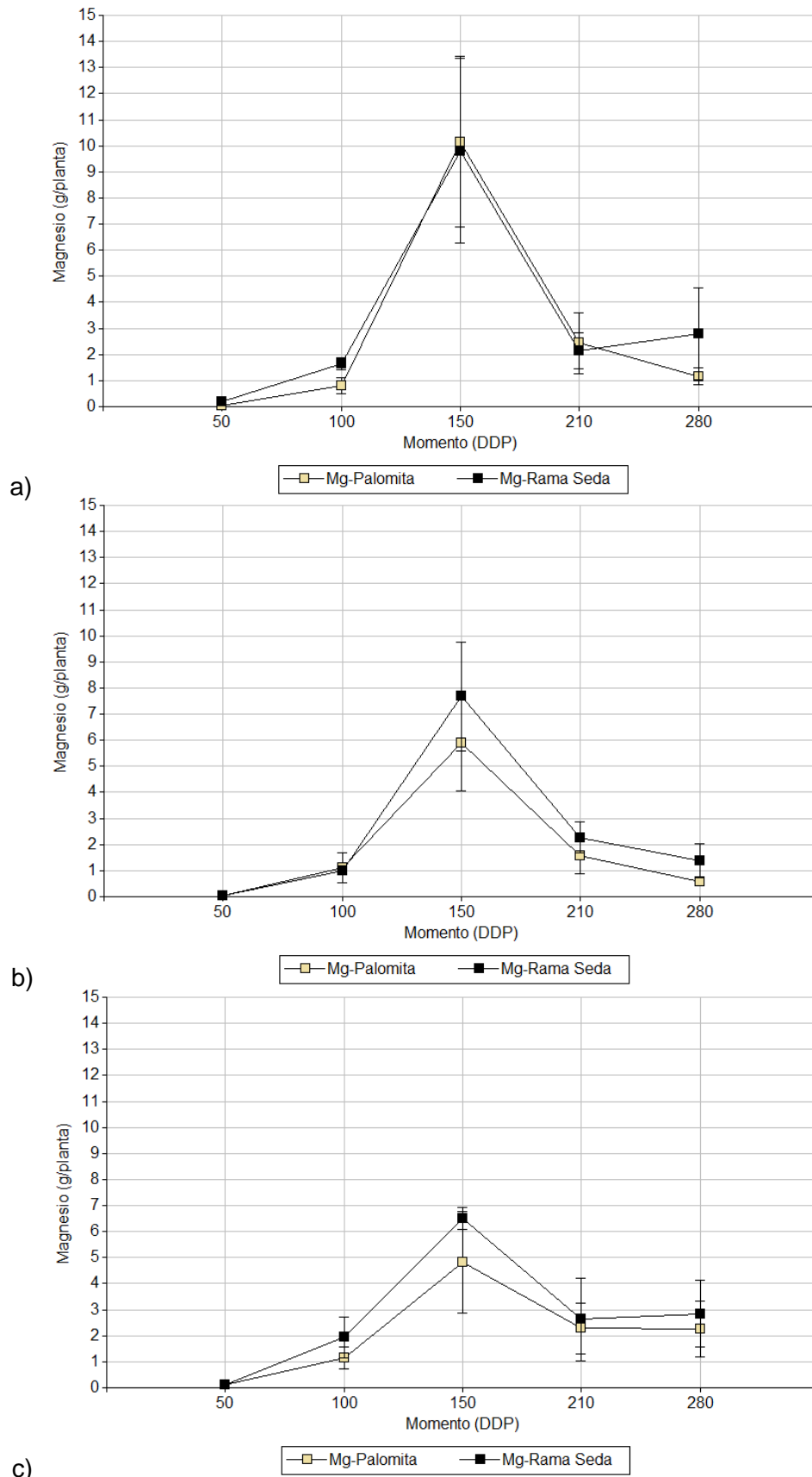


Figura 50. Partición del magnesio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.



c)
 Figura 51. Dinámica de la absorción de magnesio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, se observó interacción momento*sitio ($p \leq 0,0001$). La máxima acumulación de Mg se dio a los 150 DDP en todos los sitios (Figura 52), sin embargo, en Loreto fue significativamente superior a los demás, dado el mayor PS Aéreo presentado.

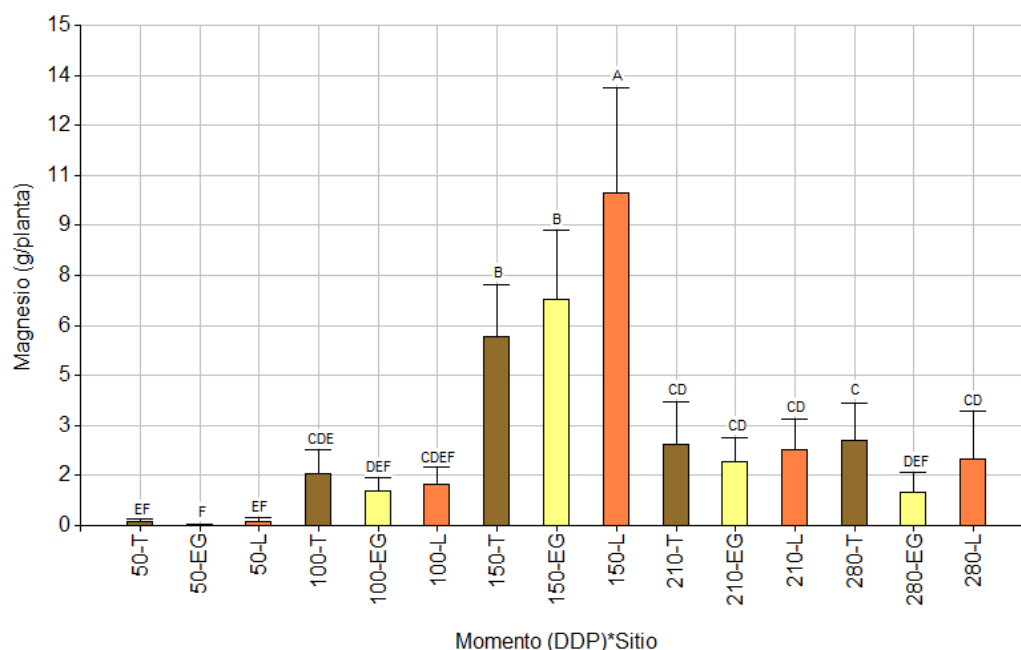


Figura 52. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2015-2016. DDP = días después de la plantación.

Campaña 2016-2017

En esta campaña, al igual que en la primera, la dinámica de absorción observada fue similar en ambos cultivares, aunque presentaron mínimas diferencias. Hasta los 100 DDP, la tasa de absorción de todos los macronutrientes fue baja o lenta. Entre los 100 y 150 DDP fue máxima para N. Para K, Ca, Mg y P se dio entre los 150 y los 210 DDP. En el caso de Ca, Mg y P se observó un desfase respecto a la primera campaña, en la cual la tasa máxima se había presentado entre los 100 y 150 DDP. En el caso de K se observó una estrecha relación con el PS Raíces, ya que presentó su máxima tasa de absorción en el período en que tomó importancia el engrosamiento de raíces.

El análisis de cada nutriente en particular arrojó los siguientes resultados.

En cuanto al N, a los 50 DDP el 82 % se concentró en láminas, seguida por tallo (9,4%), raíces (6,1%) y pecíolos (2,5%) (Figura 53). A los 100 DDP, la tendencia fue similar, aunque con un leve aumento en la concentración en tallos (11,4%) y raíces (11%). A los 150 DDP aumentó notablemente en raíces (20,8%) y se observó una marcada disminución en láminas, aunque estas últimas continuaron siendo el destino prioritario. A partir de los 210 DDP, las prioridades pasaron a ser las raíces (51,5%); un 25,7% se concentró en tallos y el resto en láminas (19,3%) y pecíolos (3,4%). En dicho momento se dio la máxima concentración de N en ambos cultivares, en todos los sitios (Figura 54). En la fase de reposo (280 DDP) el 70% se concentró en raíces y el 30% restante en tallos.

La dinámica demostrada fue similar a la observada en la primera campaña donde se observó que, en el momento de máxima concentración de N en planta, el mismo se dirigió en mayor medida hacia raíces, coincidiendo además con lo observado por otros autores (Howeller y Cadavid, 1983; Rodríguez *et al.*, 2009).

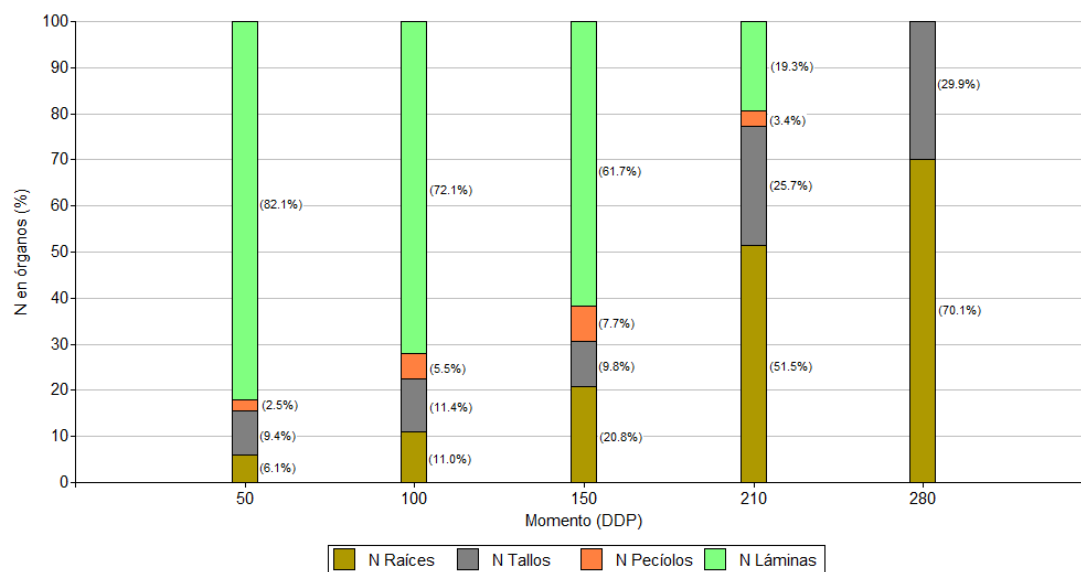
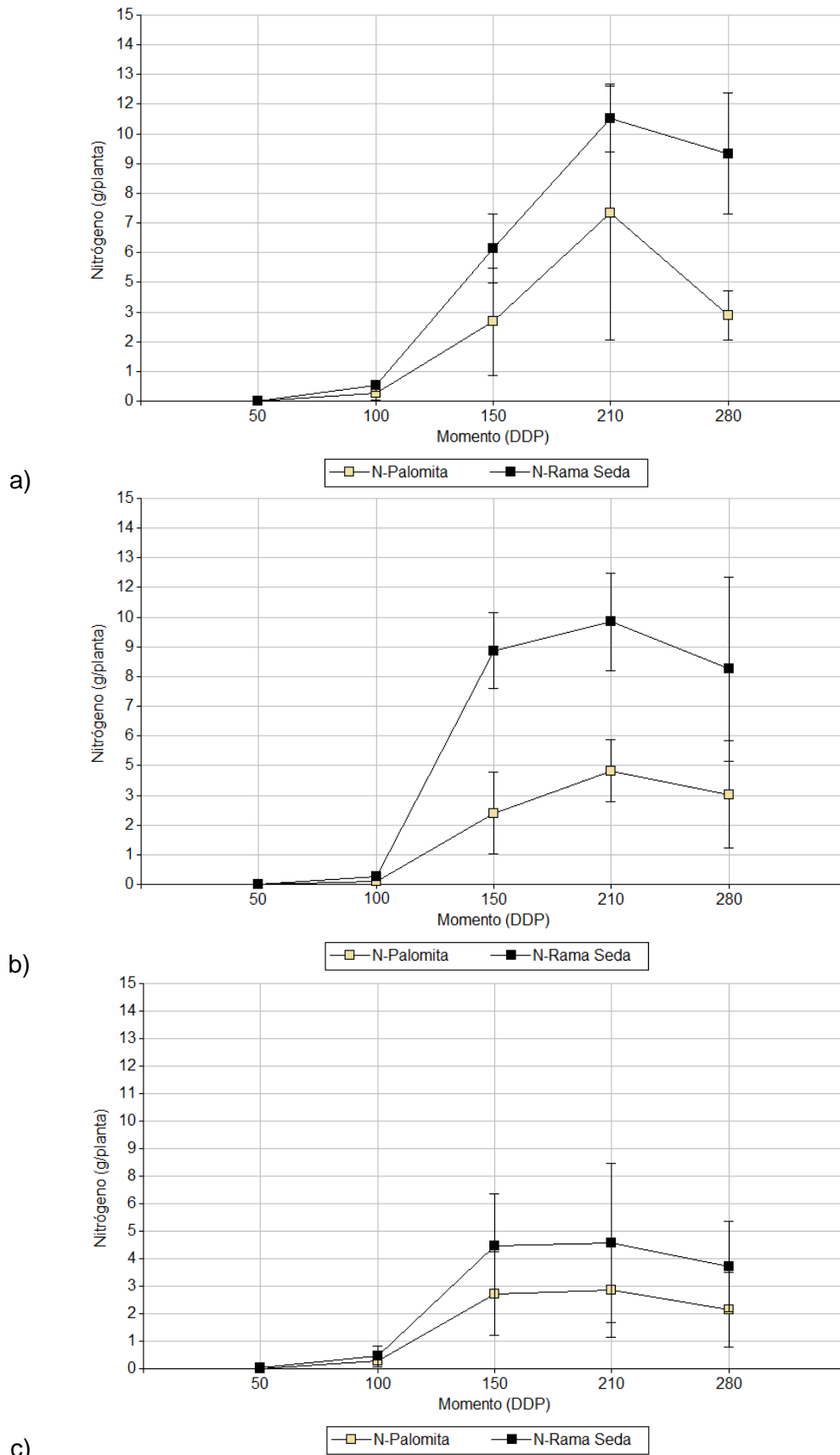


Figura 53. Partición del nitrógeno absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En cuanto a los cultivares, se observó interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0001$) y cultivar*sitio ($p \leq 0,0099$). Entre ambos cultivares se observaron diferencias a partir de los 150 DDP, siendo significativamente superior en RS ($p \leq 0,0024$) (Figura 55). En ambos, la máxima concentración de N se observó a los 210 DDP, con valores de 8,7 y 4,9 g planta⁻¹ para RS y PA, respectivamente. Respecto a la interacción cultivar*sitio, se observó que la concentración de N para RS fue significativamente superior en las series Loreto y Ensenada Grande, mientras que PA no mostró diferencias entre sitios (Figura 56). Esto se debió a las diferencias presentadas en PS Planta, lo cual fue explicado con mayor profundidad en el apartado III.2.1 Producción de biomasa.



c) Figura 54. Dinámica de la absorción de nitrógeno en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

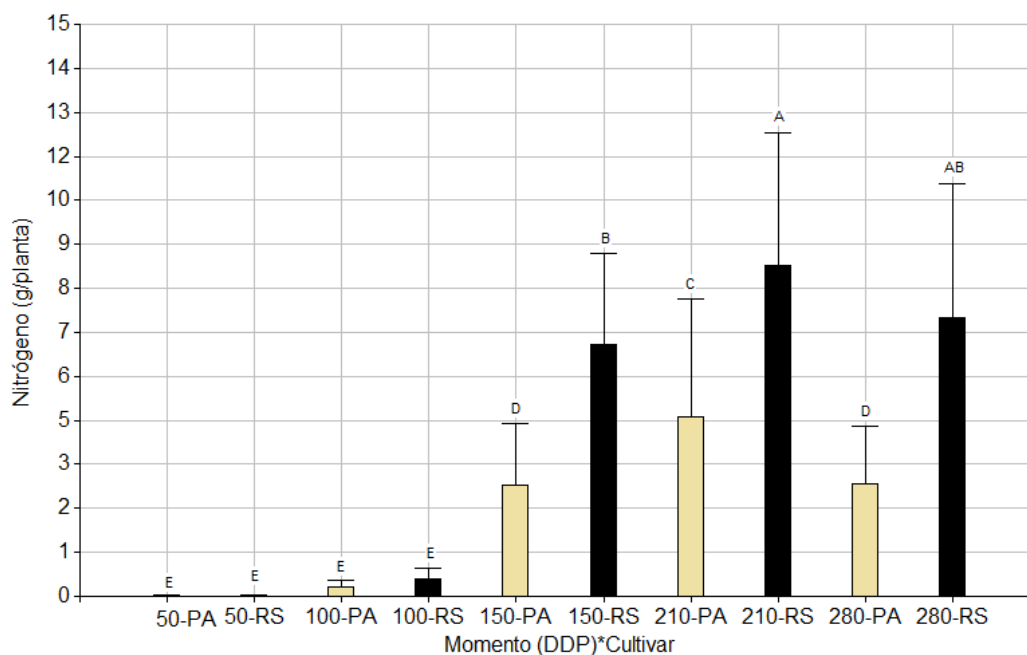


Figura 55. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

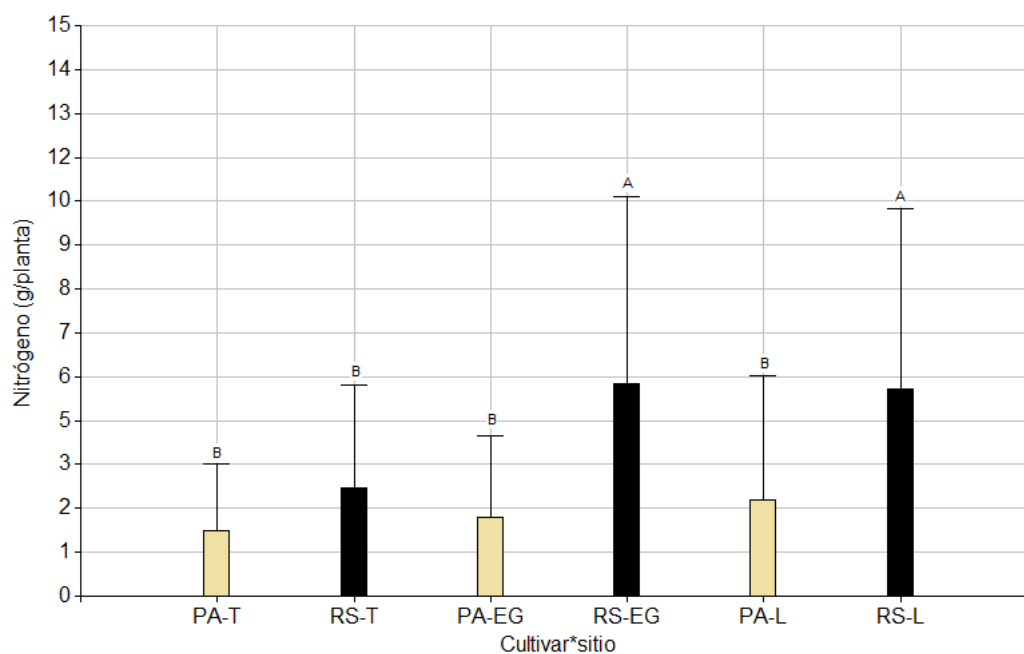


Figura 56. Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, también se observó interacción momento*sitio. En todos los casos la máxima concentración se observó a los 210 DDP (Figura 57), siguiendo lo sucedido en plantas y siendo significativamente superiores en Loreto y Ensenada Grande respecto a Treviño, debido a los mayores PS Raíces producidos en dichos sitios.

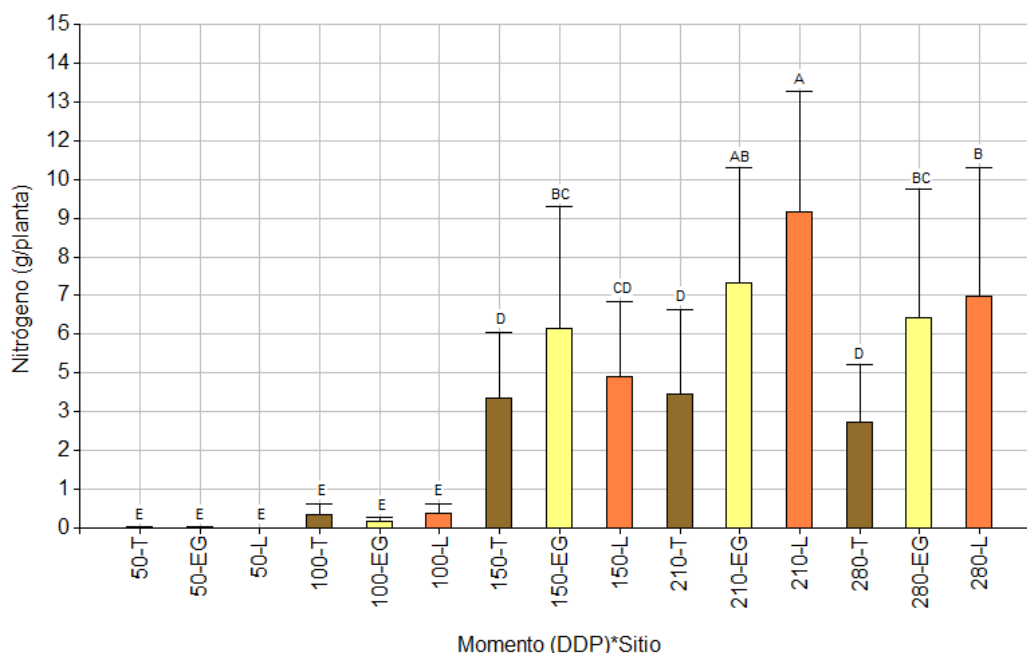


Figura 57). Absorción de nitrógeno (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En el caso de P, al igual que en la primera campaña, hasta los 100 DDP el destino principal fue la parte aérea (81,2%), distribuyéndose en mayor proporción hacia láminas (46,4%), luego tallos (25,6%) y pecíolos (9,2%) (Figura 58). A los 150 DDP aumentó la acumulación en raíces (32,3%), convirtiéndose en destino prioritario. A partir de los 210 DDP y hasta el final del ciclo, la prioridad en la acumulación de P pasó a ser el tallo (56,3%). Estos resultados se contraponen a los observados en la primera campaña, en la cual se había hallado la mayor acumulación en raíces. Sin embargo, concuerdan con Rodríguez *et al.* (2009) quien observó mayor acumulación de P en tallos al final del ciclo.

La máxima tasa de absorción se dio entre los 150 y 210 DDP, en ambos cultivares, en todos los sitios (Figura 59).

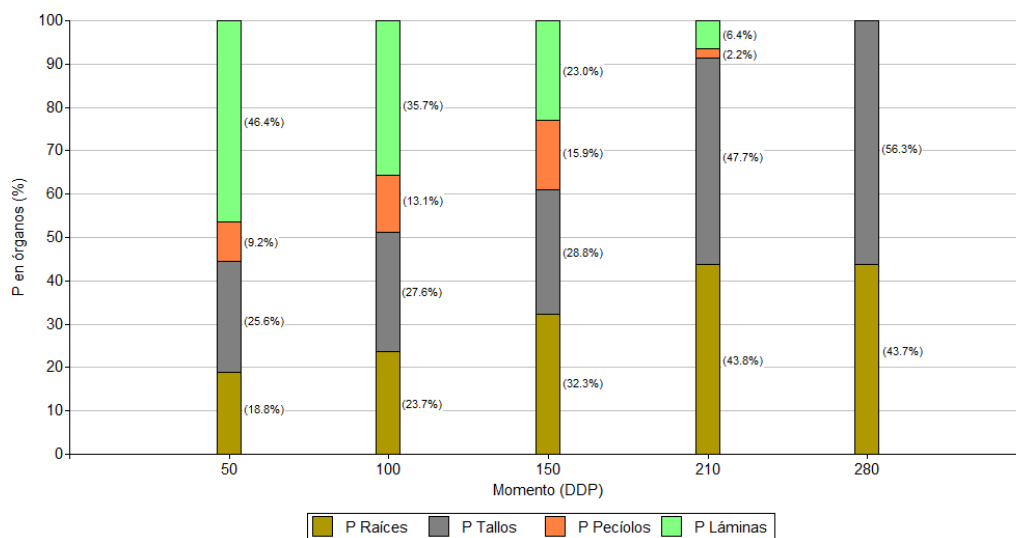
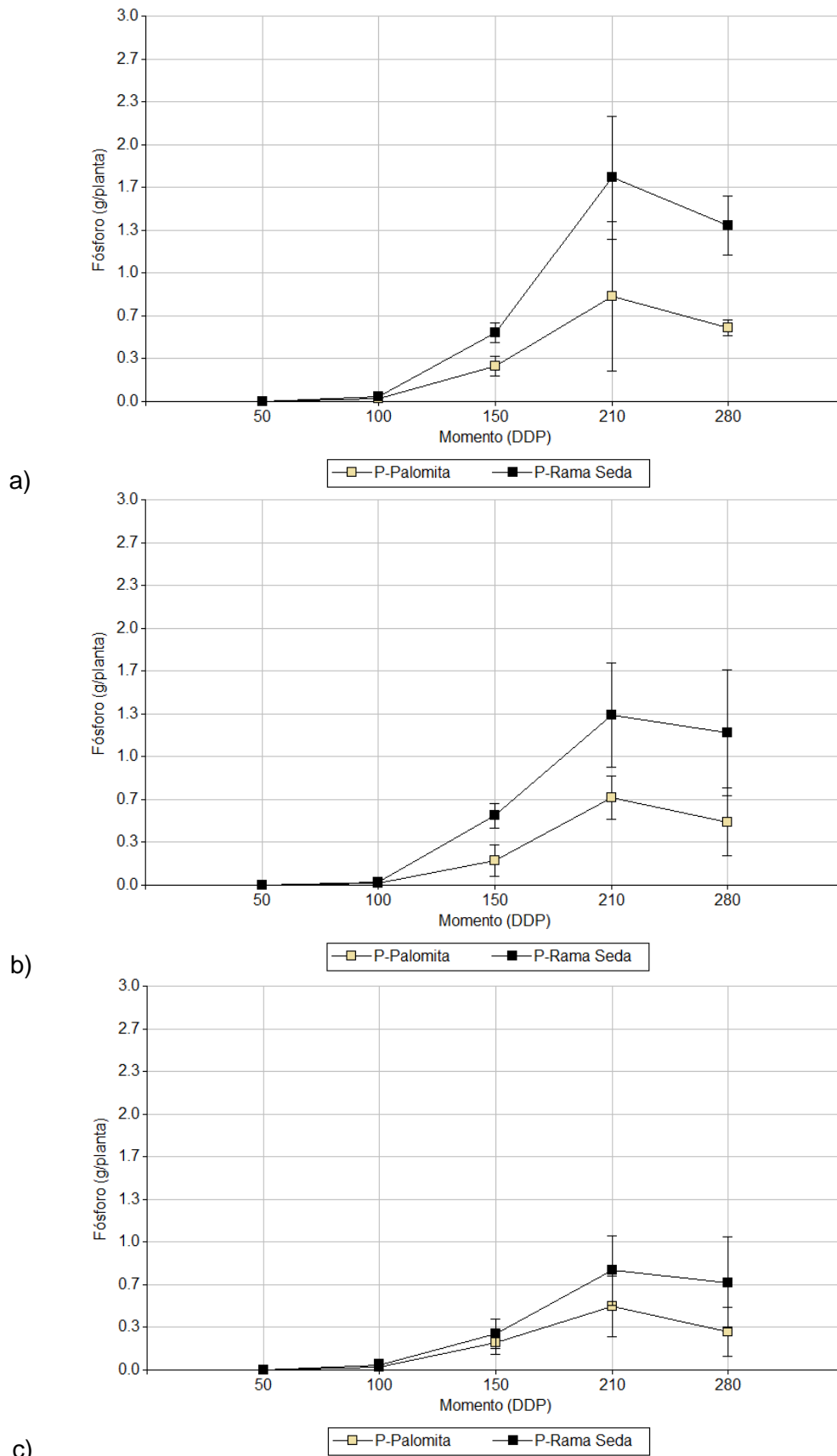


Figura 58) Partición del fósforo absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.



c)
 Figura 59. Dinámica de la absorción de fósforo en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En cuanto a los cultivares, se observaron interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0001$) y cultivar*sitio ($p \leq 0,0324$). Entre ambos cultivares se observaron diferencias a partir de los 150 DDP, siendo significativamente superior en RS (Figura 60). En ambos cultivares la máxima acumulación de P se dio a los 210 DDP (1,3 g planta⁻¹ en RS y 0,67 g planta⁻¹ en PA). Respecto a la interacción cultivar*sitio, se observó que la concentración de P para RS fue significativamente superior en las series Loreto y Ensenada Grande, mientras que PA no mostró diferencias entre sitios (Figura 61).

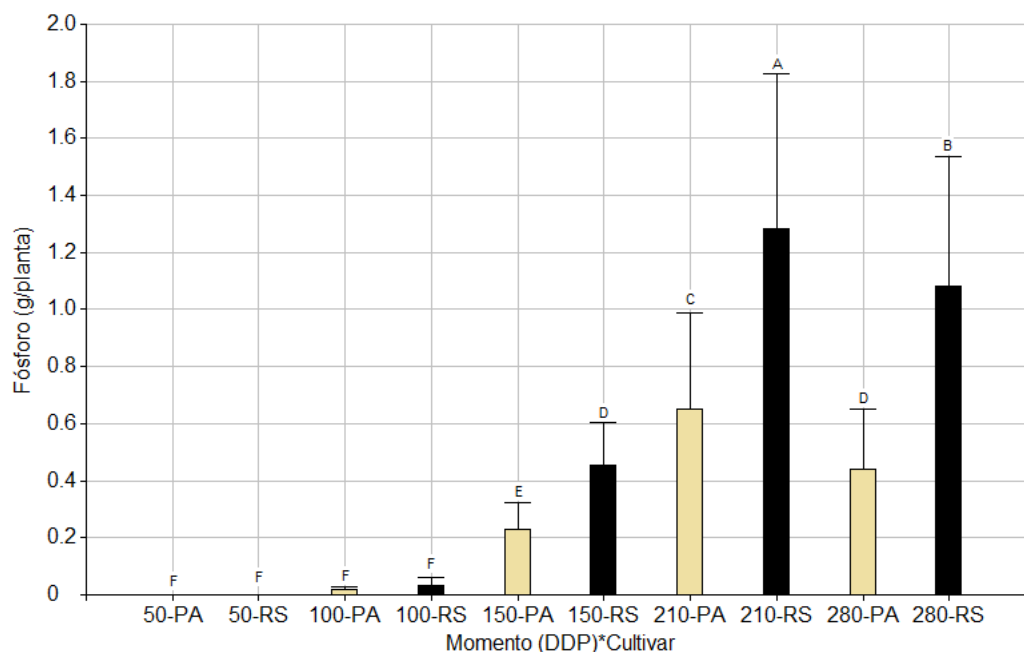


Figura 60. Absorción de fósforo (g planta⁻¹) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

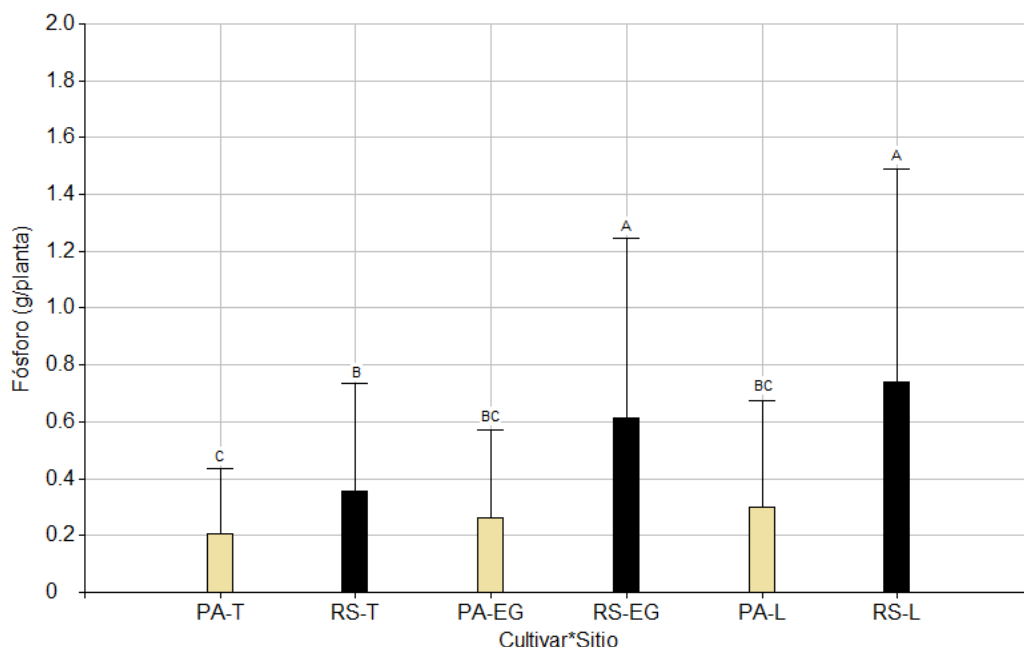


Figura 61. Absorción de fósforo (g planta⁻¹) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, también se observó interacción momento*sitio (Figura 62). En todos los casos la máxima concentración se observó a los 210 DDP, momento en el cual fue significativamente superior en Loreto con valores de $1,3 \text{ g planta}^{-1}$ vs. 1 g planta^{-1} en Ensenada Grande y $0,64 \text{ g planta}^{-1}$ en Treviño. Esto se debió al mayor PS Aéreo producido en dicho sitio. A su vez Ensenada Grande se diferenció significativamente de Treviño.

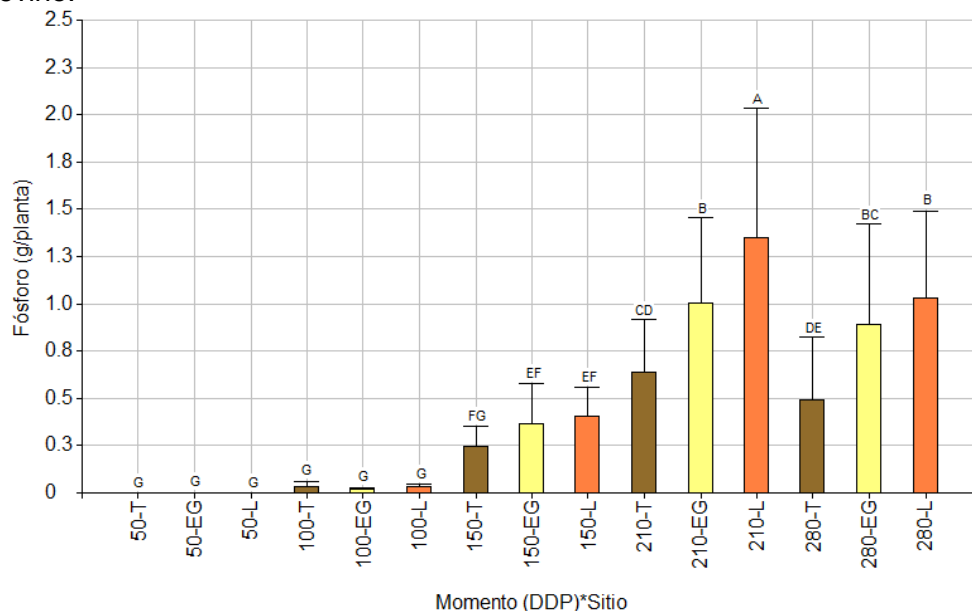


Figura 62. Absorción de fósforo (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En el caso de K, a los 50 DDP el principal destino fue la parte aérea (81,1%), distribuyéndose en mayor proporción hacia tallos (46,3%), luego láminas (26,3%), raíces (18,9%) y pecíolos (8,5%) (Figura 63). A los 100 DDP, hubo un aumento en la concentración en láminas (36,2%), raíces (22%) y pecíolos (16,7%), a la vez que disminuyó notoriamente en tallos (25,1%). A los 150 DDP, aumentó la concentración en raíces (40,4%) convirtiéndose en destino prioritario. A partir de los 210 DDP y hasta el final del ciclo, la partición paso a ser marcadamente superior hacia las raíces (68,7%). La tasa máxima de absorción se presentó entre los 150 y 210 DDP, al igual que en la primera campaña (Figura 64).

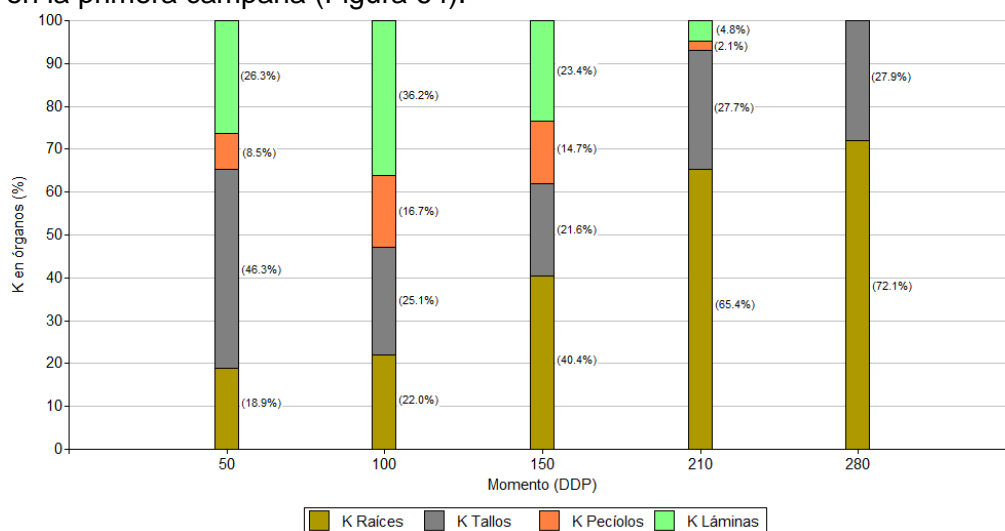
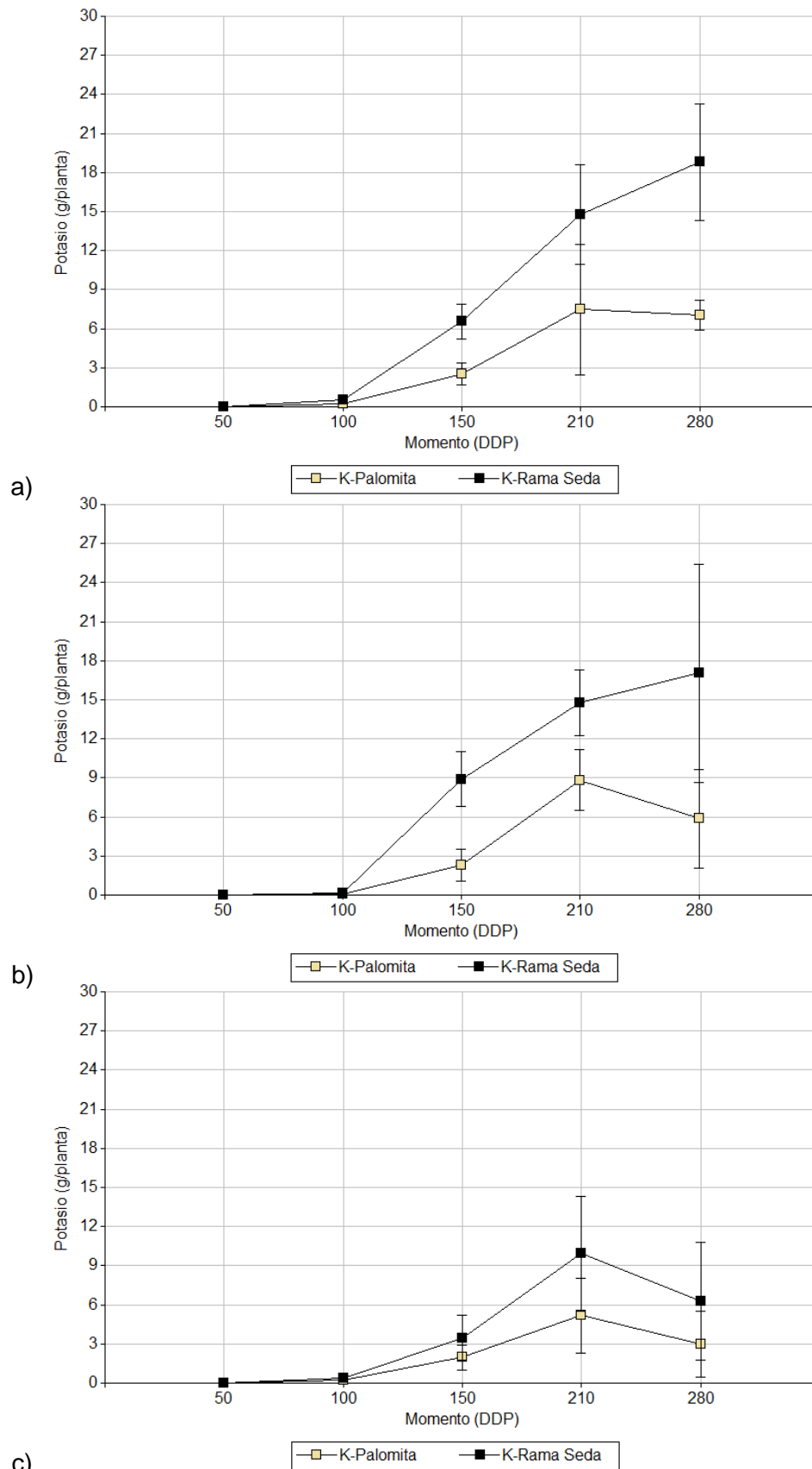


Figura 63. Partición del potasio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.



c)
 Figura 64. Dinámica de la absorción de potasio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En cuanto a los cultivares, se observaron interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0001$) y cultivar*sitio ($p \leq 0,0350$). Entre ambos cultivares se observaron diferencias a partir de los 150 DDP, siendo significativamente superior en RS (Figura 65). A los 210 DDP se alcanzó la máxima concentración en planta, aunque RS continuó concentrando hasta los 280 DDP. Respecto a la interacción cultivar*sitio, se observó que la concentración de K para RS fue significativamente superior en las series Loreto y Ensenada Grande, mientras que PA no mostró diferencias entre sitios (Figura 66).

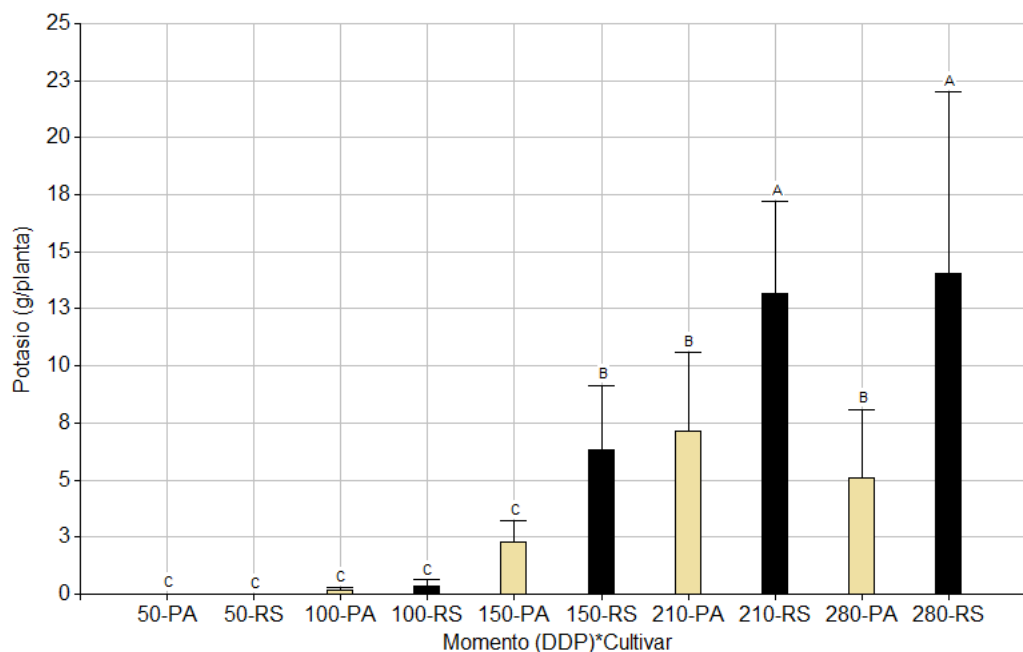


Figura 65. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

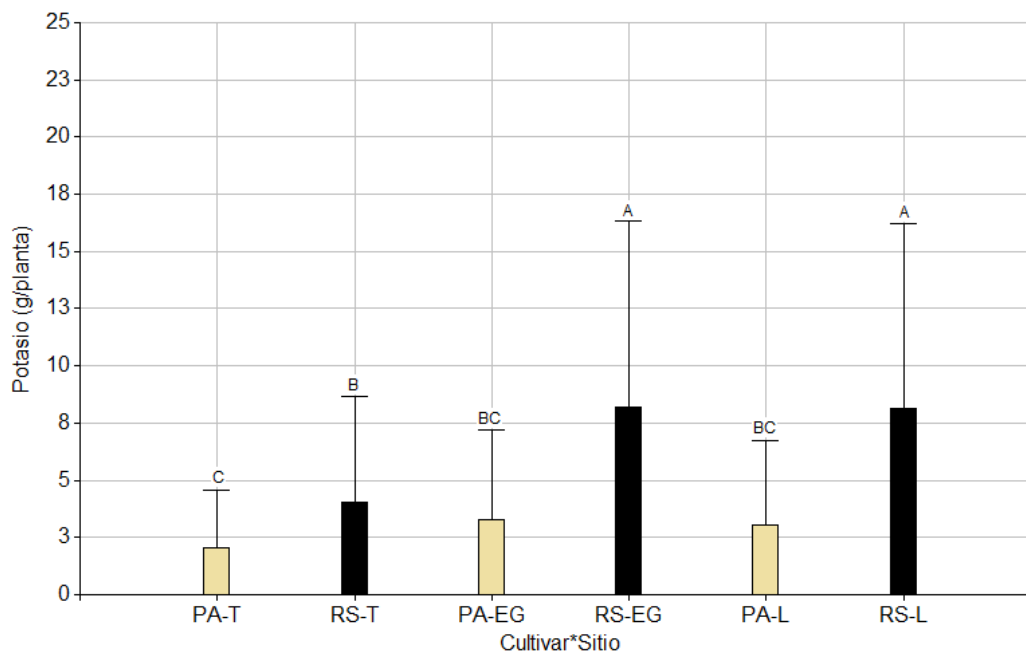


Figura 66. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, también se observó interacción momento*sitio (Figura 67). En las series Loreto y Ensenada Grande, la máxima acumulación se observó a los 280 DDP, sin presentar diferencias con la de los 210 DDP. En ambos sitios la absorción de K fue significativamente superior a Treviño dado por las diferencias en el PS Raíces producido. En Treviño la acumulación a los 210 DDP fue significativamente superior que la presentada a los 280 DDP.

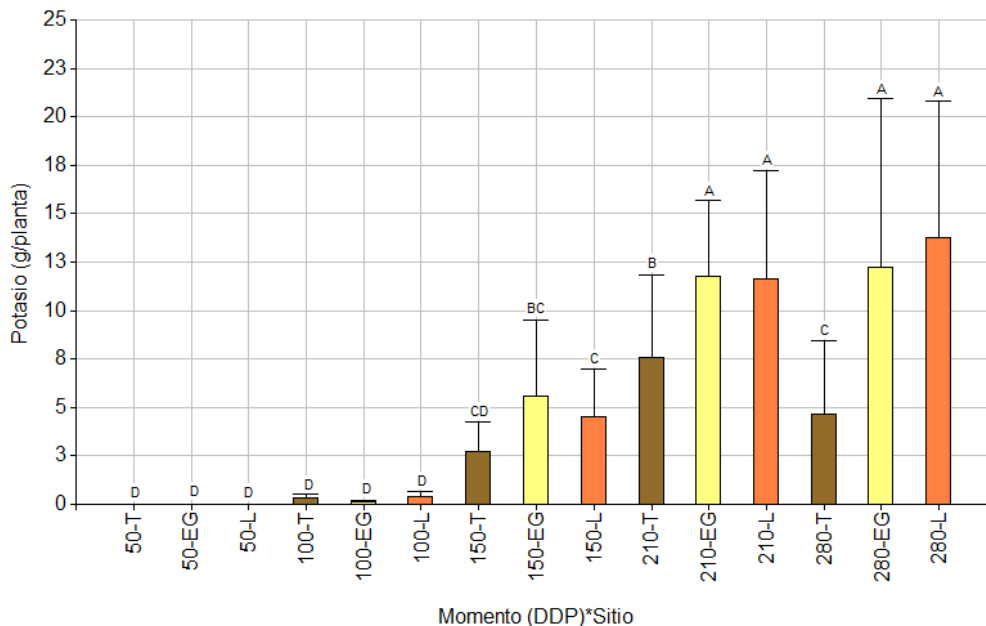


Figura 67. Absorción de potasio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Analizando al Ca, a los 50 DDP el principal destino fue la parte aérea (94%), distribuyéndose en mayor proporción hacia tallos (46,1%), luego láminas (40,7%), pecíolos (7,2%) y raíces (6%) (Figura 68). A los 100 DDP, la tendencia fue similar, aunque con un leve aumento en raíces (16,6%) y pecíolos (18,9%). A los 150 DDP aumentó la concentración en raíces (33,8%) convirtiéndose en destino prioritario hasta el final del ciclo. La máxima tasa de absorción se observó entre los 150 y 210 DDP, excepto en Treviño y en el caso de RS en Ensenada Grande donde ocurrió entre los 100 y 150 DDP (Figura 69).

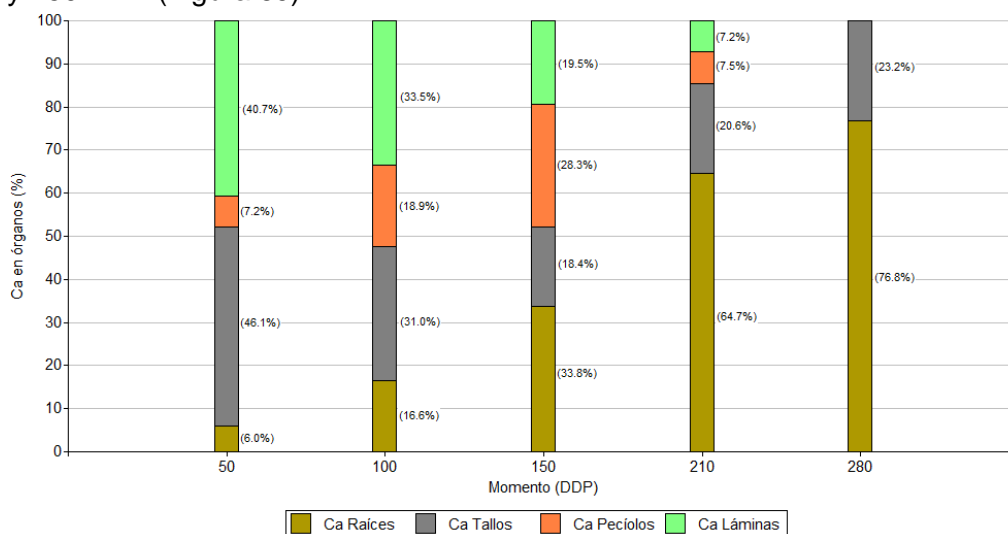


Figura 68. Partición del calcio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

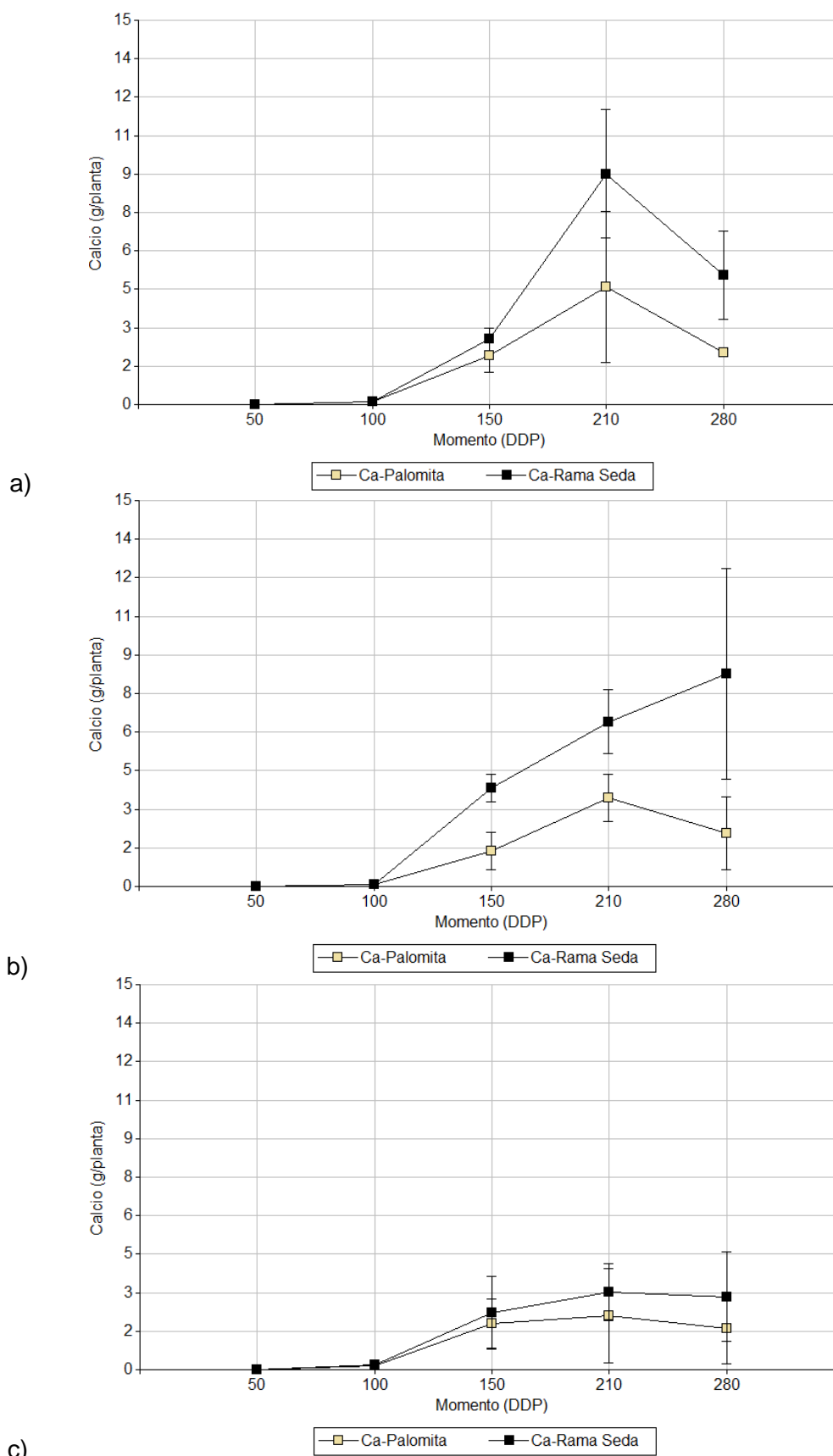


Figura 69. Dinámica de la absorción de calcio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En cuanto a los cultivares, se observaron interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0001$) y cultivar*sitio ($p \leq 0,0106$). Entre ambos cultivares se observaron diferencias a partir de los 150 DDP, siendo significativamente superior la concentración en RS (Figura 70). Ambos, alcanzaron la máxima concentración en planta a los 210 DDP. El comportamiento coincidió con el evidenciado en la primera campaña donde en el momento de máxima concentración, el Ca se dirigió en mayor medida a raíces. Respecto a la interacción cultivar*sitio, se observó que la concentración de Ca para RS fue significativamente superior en las series Loreto y Ensenada Grande, mientras que PA no mostró diferencias entre sitios (Figura 71).

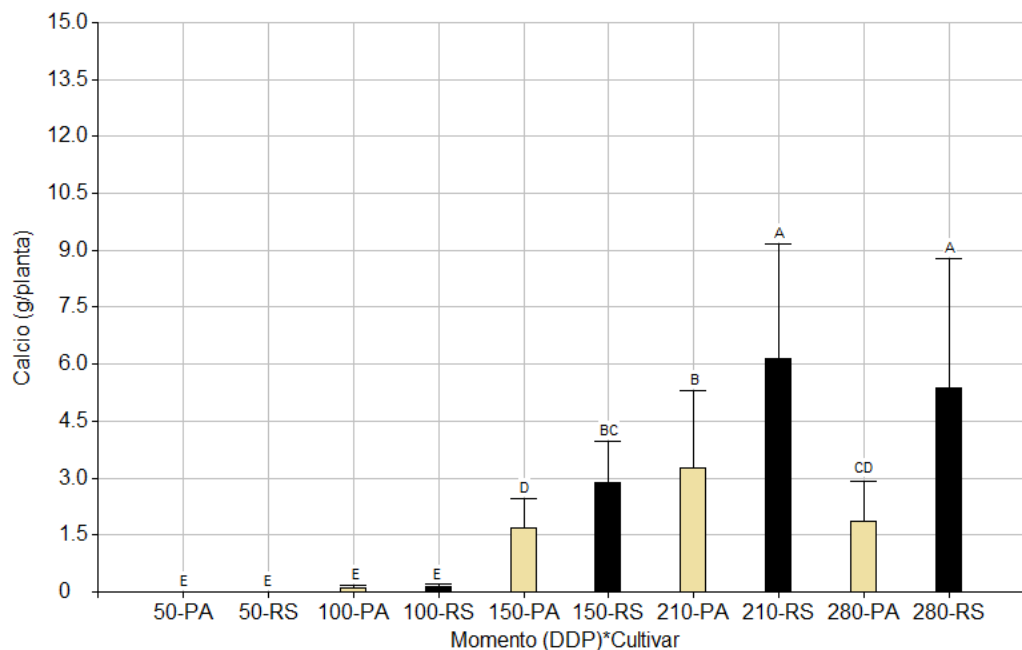


Figura 70. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

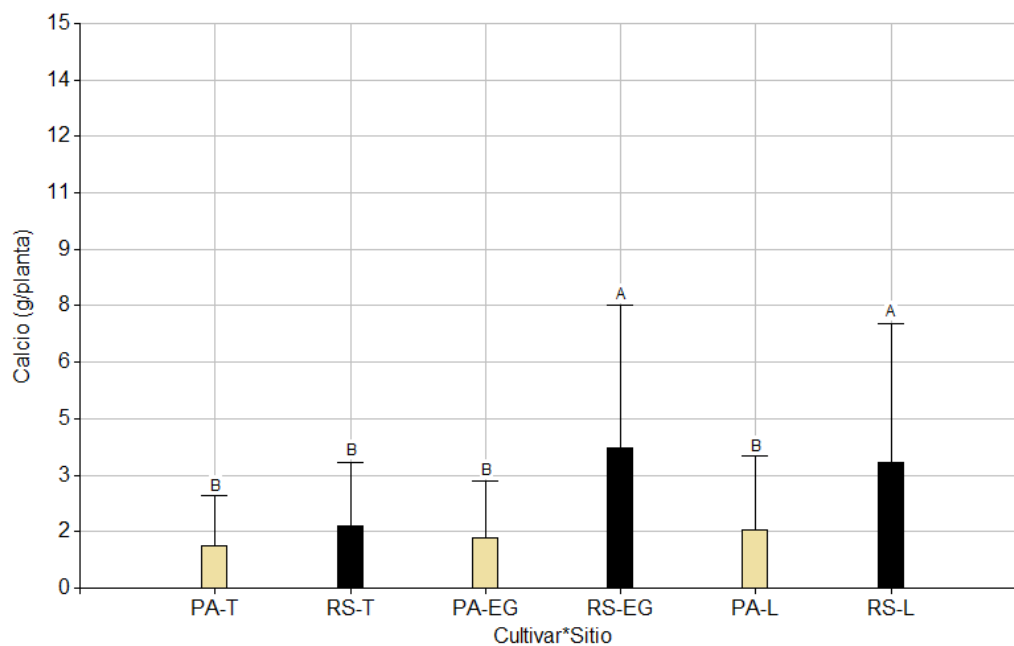


Figura 71. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo, en las series Loreto (L), Ensenada Grande (EG) y Treviño (T). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, también se observó interacción momento*sitio (Figura 72). Se detectaron diferencias a partir de los 210 DDP, momento de máxima concentración de Ca en plantas, siendo significativamente superior ($p \leq 0,0013$) en Loreto. En las series Treviño y Ensenada Grande no se observaron diferencias respecto a los 280 DDP, mientras que en Loreto fue significativamente superior a los 210 DDP.

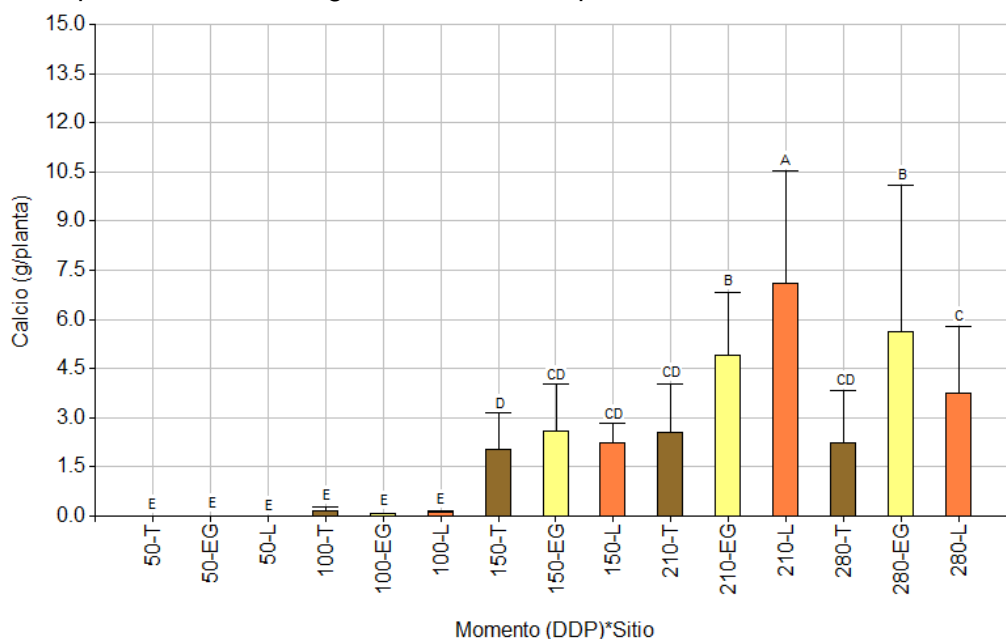


Figura 72. Absorción de calcio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Respecto al Mg, a los 50 DDP, el principal destino fue la parte aérea (94,8%), distribuyéndose en mayor proporción hacia tallos (52,6%), luego láminas (35,9%), pecíolos (6,3%) y por último raíces (5,2%) (Figura 73). A los 100 DDP, el principal destino fueron las láminas (39,3%) y aumentó la concentración en raíces (23,6%). A los 150 DDP, la partición continuó siendo superior hacia la parte aérea, sin embargo, la concentración en raíces tomó gran notoriedad (44,3%). La máxima tasa de absorción se encontró entre 150 y 210 DDP en ambos cultivares, para todos los sitios, coincidiendo con el momento en que las raíces comenzaron a engrosar (Figura 74). A partir de los 210 DDP, las raíces fueron el destino principal de la acumulación de Mg.

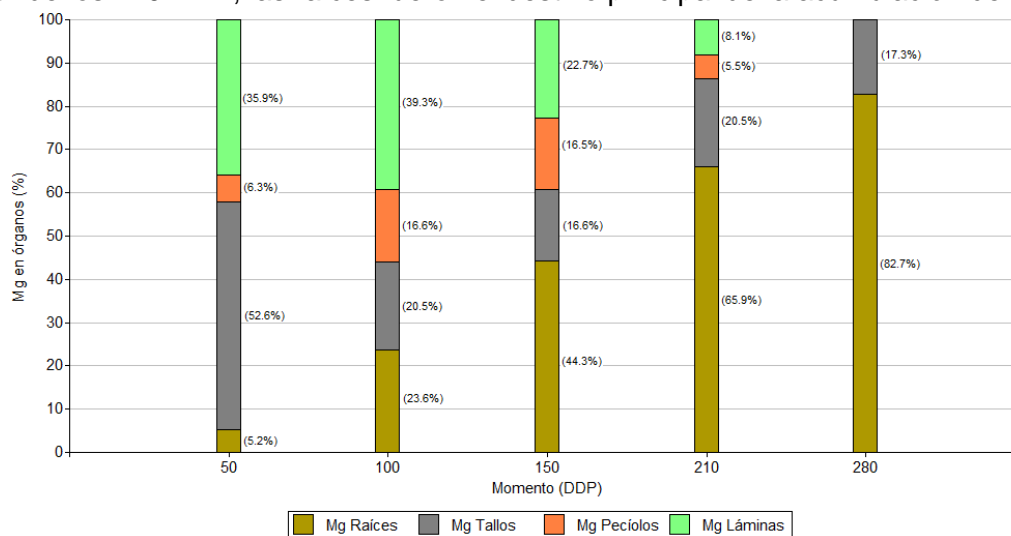


Figura 73) Partición del magnesio absorbido en raíces, tallos, láminas y pecíolos de una planta de mandioca (*Manihot esculenta*). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

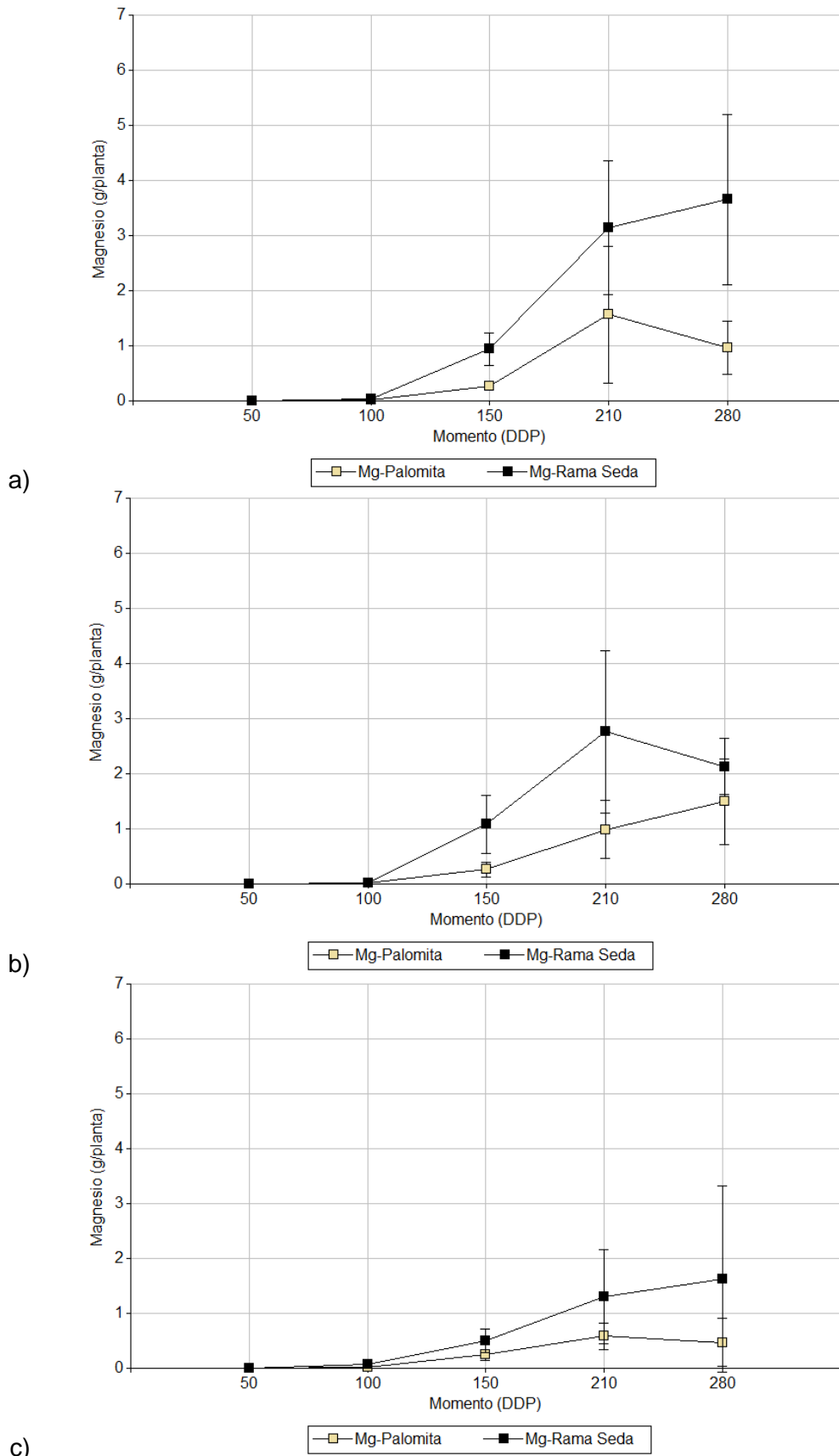


Figura 74. Dinámica de la absorción de magnesio en plantas de dos cultivares mandioca (*Manihot esculenta*): Rama Seda y Palomita, durante un ciclo productivo, en las series Loreto (a), Ensenada Grande (b) y Treviño (c). Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

En cuanto a los cultivares, se observaron interacciones momento*cultivar ($p \leq 0,0001$). Se observaron diferencias a partir de los 150 DDP, siendo significativamente superior la concentración en RS (Figura 75).

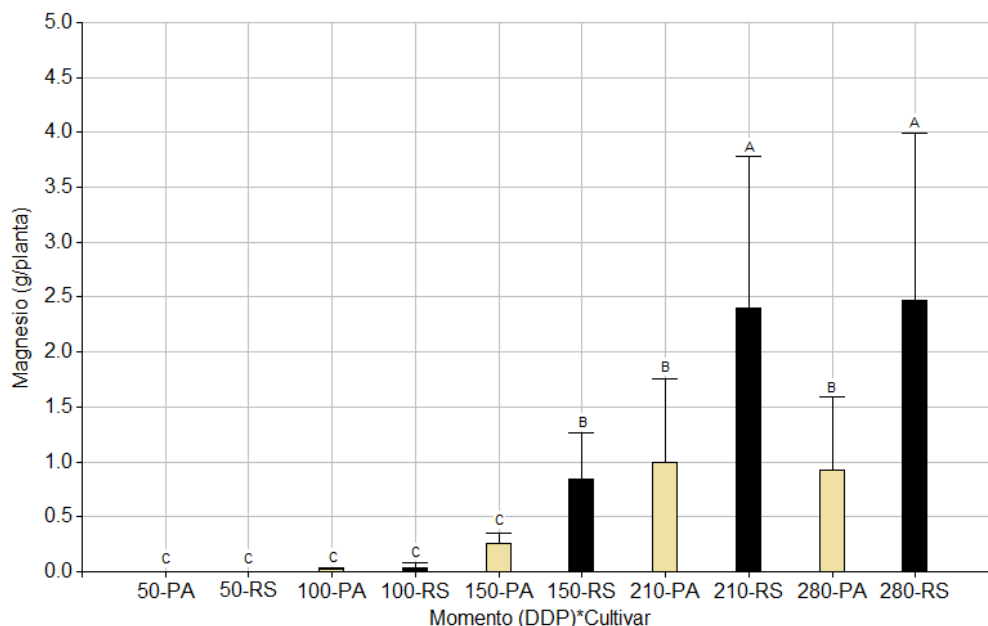


Figura 75. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en plantas de mandioca (*Manihot esculenta*), cultivares Rama Seda (RS) y Palomita (PA), durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

Por otro lado, se observó interacción momento*sitio. Se observaron diferencias a partir de los 210 DDP, siendo la concentración de Mg significativamente superior en las series Loreto y Ensenada Grande respecto a Treviño, dado el mayor PS Raíces (Figura 76).

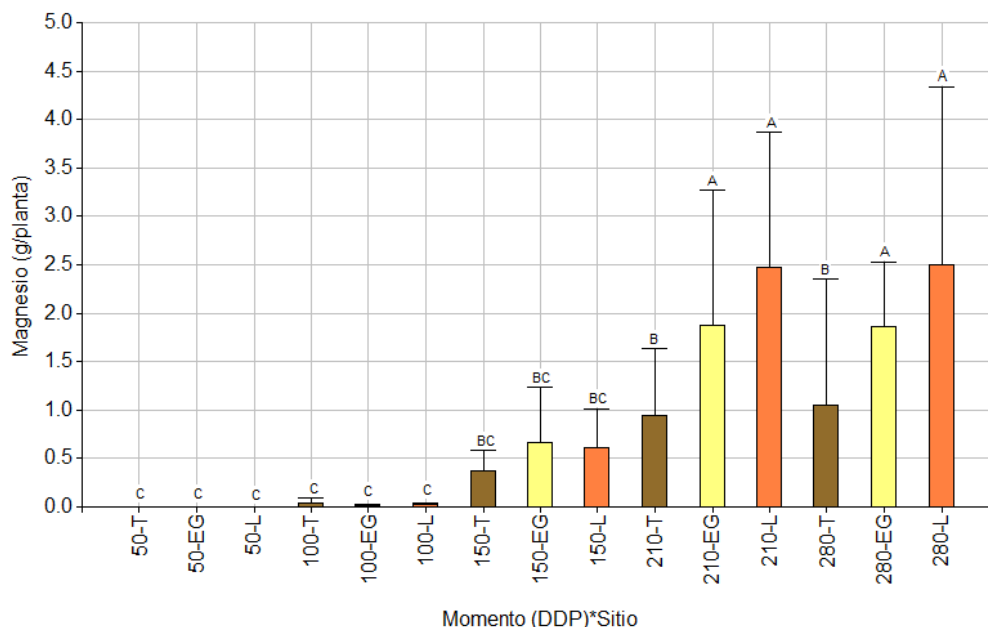


Figura 76. Absorción de magnesio (g planta^{-1}) en las series Treviño (T), Ensenada Grande (EG) y Loreto (L) durante un ciclo productivo. Campaña 2016-2017. DDP = días después de la plantación.

III.5 Extracción y exportación de macronutrientes

Respecto a la extracción y exportación de macronutrientes, se observó una gran variabilidad en la información disponible en la bibliografía, lo cual puede deberse a las diferencias inherentes a los cultivares empleados y a las condiciones edafoclimáticas particulares de cada estudio. Según Howeller (2002), las cantidades de nutrientes absorbidos por las plantas o removidos por las raíces cosechadas dependen de la tasa de crecimiento y del rendimiento, los cuales a su vez dependen del clima, de la fertilidad del suelo y de los cultivares.

III.5.1 Extracción total de macronutrientes

En cuanto a la extracción total de macronutrientes en planta completa (kg ha^{-1}) no se observaron diferencias entre campañas, excepto para el caso de N que se extrajo en cantidades significativamente superiores ($p=0,0106$) en la campaña 2015-2016 ($72,6$ vs. 52 kg ha^{-1}).

En términos generales, se pudo observar que el orden de extracción en ambos cultivares y en todos los sitios estudiados fue $K>N>Ca>Mg>P$. Similares resultados obtuvieron Howeller (1981) y Lorenzi *et al.* (1980), excepto para N y K, en los cuales el orden de extracción fue a la inversa.

Entre cultivares, en ambas campañas, los valores de extracción de RS fueron significativamente superiores a PA presentando valores de: 128 vs. $61,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K ($p\leq 0,0001$); $78,9$ vs. $46,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N ($p\leq 0,0006$); $9,1$ vs. $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de P ($p\leq 0,0001$); $50,1$ vs. $22,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca ($p\leq 0,0005$) y $24,1$ vs. $11,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg ($p\leq 0,0005$). Estos resultados estuvieron relacionados al mayor PS Planta producido por RS.

Entre sitios, las extracciones de N y K fueron superiores ($p\leq 0,0061$ y $p\leq 0,0001$, respectivamente) en la serie Loreto, sin presentar diferencias con Ensenada Grande en el caso del P. Respecto al K, a su vez, la extracción en Ensenada Grande fue superior a Treviño. En la extracción de Ca y Mg no hubo diferencias estadísticas.

Los valores de extracción de cada nutriente (en kg ha^{-1}) pueden observarse en la Tabla 5.

Tabla 5. Extracción total de macronutrientes (plantas completas, kg ha^{-1}) para los cvs. Palomita y Rama Seda, en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Cultivar	Biomasa de planta (t ha^{-1})		kg de nutrientes extraídos (kg ha^{-1})				
	Fresco	Seco	N	P	K	Ca	Mg
Palomita	18,3b	5,3b	46,78b	4,77b	61,51b	22,50b	11,47b
Rama Seda	34,3a	9,2a	78,89a	9,09a	128,04a	50,14a	24,14a
Sitio							
Loreto	33,3a	8,5a	83,30a	8,65a	137,28a	41,58a	21,73a
Ensenada Grande	24,9b	7,1ab	55,60b	6,91a	89,55b	36,63a	13,65a
Treviño	20,7b	6,1b	49,61b	5,23b	57,49c	30,75a	18,03a
Año							
2015-2016	28,1a	7,7a	72,58a	6,17a	92,35a	36,13a	18,52a
2016-2017	24,6a	6,7a	52,06b	7,73a	97,13a	36,63a	17,23a

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

III.5.2 Exportación de macronutrientes en raíces tuberosas

Respecto a la exportación de macronutrientes en raíces tuberosas cosechadas (kg ha^{-1}), se observó idéntico orden que el obtenido para la extracción total en planta completa. El K fue el macronutriente de mayor extracción en las mismas, seguido por N, Ca, Mg y P. Según Howeller y Cadavid (1983), el K exportado en las raíces tuberosas cosechadas es aproximadamente el 75% del total extraído, valor que estuvo por debajo del hallado en este trabajo donde se observó que el mismo fue superior al 80% para ambos cultivares.

Entre campañas se observaron diferencias significativas en cuanto a la exportación de P, Ca y Mg ($p \leq 0,0091$, $0,0179$ y $0,0057$, respectivamente). En la primera campaña fue significativamente superior la exportación de P, mientras que en la segunda Ca y Mg lo hicieron en mayor cantidad.

Entre cultivares, se observaron diferencias en la exportación de todos los macronutrientes estudiados, siendo superior en RS respecto de PA presentando valores de: $104,9$ vs. $51,1 \text{ kg ha}^{-1}$ en K ($p \leq 0,0001$); $46,9$ vs. 26 kg ha^{-1} en N ($p \leq 0,0004$); $33,4$ vs. $14,6 \text{ kg ha}^{-1}$ en Ca ($p \leq 0,0020$); $15,6$ vs. $7,8 \text{ kg ha}^{-1}$ en Mg ($p \leq 0,0088$); y $5,5$ vs. $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ en P ($p \leq 0,0040$) (Tabla 6). Esto coincidió con lo reportado por Howeller (2002) quien indicó que cultivares con altos rendimientos generalmente presentan mayor contenido de nutrientes en raíces que aquellos de menor rendimiento. Howeller (1981), indicó que para un rendimiento de 25 t ha^{-1} (aproximado al obtenido en RS) las extracciones fueron de 57 kg de N; 12 kg de P; 102 kg de K, 15 kg de Ca y 7 kg de Mg. Dichos valores fueron semejantes a los obtenidos en este trabajo en lo respectivo a K y N; para Ca y Mg representaron la mitad, y para P fue aproximadamente el doble. Por otro lado, Howeller (2002), promediando valores reportados por numerosos autores, mencionó que para un rendimiento de 15 t ha^{-1} (valor similar al obtenido en PA) las extracciones fueron de 35 kg ha^{-1} de N; $5,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de P; 46 kg ha^{-1} de K; $7,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca y $4,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg. Dichos valores fueron levemente superiores a los hallados en este trabajo en el caso de N y P, e inferior al hallado para K. En Ca y Mg fueron aproximadamente un 50% más bajos.

Entre sitios, no se observaron diferencias significativas en la extracción de Ca y Mg. Para el resto de los nutrientes estudiados, la extracción en raíces tuberosas fue superior en Loreto, aunque sin diferenciarse estadísticamente de Ensenada Grande en el caso de N y P.

Tabla 6. Exportación de macronutrientes en raíces tuberosas cosechadas (kg ha^{-1}) para los cvs. Palomita y Rama Seda, y en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Cultivar	Rendimiento (t ha^{-1})		kg de nutrientes extraídos (kg ha^{-1})				
	Fresco	Seco	N	P	K	Ca	Mg
Palomita	11,8b	3,5b	25,99b	3,37b	51,12b	14,56b	7,80b
Rama Seda	22,6a	6,1a	46,86a	5,55a	104,90a	33,43a	15,60a
Sitio							
Loreto	20,2a	5,2a	44,70a	5,28a	109,22a	23,27a	14,25a
Ensenada Grande	17,8ab	5,3a	36,36ab	4,78a	76,59b	29,35a	10,50a
Treviño	13,6b	3,9b	28,21b	3,31b	48,22c	19,37a	10,34a
Año							
2015-2016	18,3a	5,0a	34,27a	5,32a	82,82a	18,15b	8,29b
2016-2017	16,2a	4,6a	38,58a	3,59b	73,20a	29,85a	15,10a

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

III.5.3 Exportación de macronutrientes por tonelada de raíces tuberosas

Al analizar la exportación de macronutrientes por tonelada de raíces tuberosas, se observó un orden idéntico al demostrado en las anteriores variables ($K > N > Ca > Mg > P$). Similares resultados fueron obtenidos por varios autores (Asher *et al.*, 1980; Howeler y Cadavid, 1983; Howeller, 1981; Parry *et al.*, 2005; Souza, 2014) aunque en sus estudios la exportación de P fue mayor que la de Ca y Mg. Por su parte, Cadavid (2002) y Lorenziet *al.* (1980) encontraron mayor exportación de N que de K por tonelada de raíces tuberosas.

Cenóz *et al.* (2001) y Howeller (1981) indicaron que una tonelada de raíces tuberosas exporta 2,4 kg de nitrógeno; 0,5 kg de fósforo, 4 kg de potasio, 0,6 kg de Ca y 0,3 kg de Mg. Estos valores, si bien coinciden en su mayoría con el orden de exportación observado, estuvieron muy por debajo de los hallados en este trabajo.

En esta investigación, se observaron diferencias entre campañas en cuanto a la exportación por tonelada de raíces de todos los macronutrientes estudiados, excepto K (Tabla 7. En la campaña 2016-2017 fueron significativamente superiores las exportaciones de N, Ca y Mg ($p \leq 0,0219$, $< 0,0001$ y $0,0017$, respectivamente), mientras que P lo fue en la primera campaña ($p \leq 0,0145$).

Por otro lado, entre cultivares no se observaron diferencias significativas, mientras que entre sitios fue significativamente superior ($p \leq 0,0001$) la exportación de K en la serie Loreto.

Tabla 7. Exportación de macronutrientes por tonelada de raíces tuberosas cosechadas para los cvs. Palomita y Rama Seda, y en tres series de suelo: Ensenada Grande, Loreto y Treviño del norte de Corrientes (Argentina). Campañas 2015-2016 y 2016-2017.

Cultivar	Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)		kg de nutrientes extraídos ($kg\ t^{-1}$)				
	Fresco	Seco	N	P	K	Ca	Mg
Palomita	11,8b	3,5b	8.15a	0.97a	14.97a	4.45a	2.42a
Rama Seda	22,6a	6,1a	7.86a	0.92a	16.66a	5.37a	2.66a
Sitio							
Loreto	20,2a	5,2a	8.65a	1.01a	20.70a	4.64a	2.67a
Ensenada Grande	17,8ab	5,3a	7.42a	0.97a	14.49b	4.82a	2.22a
Treviño	13,6b	3,9b	7.94a	0.84a	12.24b	5.27a	2.73a
Año							
2015-2016	18,3a	5,0a	6.81b	1.05a	15.93a	3.50b	1.76b
2016-2017	16,2a	4,6a	9.20a	0.83b	15.69a	6.32a	3.31a

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

Capítulo IV
CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de la producción y partición de biomasa, de la evolución de los componentes del rendimiento y la calidad, y la absorción y partición de macronutrientes por parte de los cultivares de mandioca estudiados en interacción con los distintos sitios, se puede concluir que:

- La producción de biomasa seca total tuvo un patrón sigmoideal en ambos cultivares presentando una etapa inicial de crecimiento lento (hasta los 100 DDP), seguida de una fase exponencial de crecimiento acelerado (hasta los 210 DDP) y, por último, una etapa de estabilización donde se alcanzó la máxima producción de biomasa seca en planta.
- En la etapa inicial de crecimiento (hasta 100 DDP) no se observaron diferencias de producción de biomasa seca en plantas, entre cultivares en los distintos sitios, lo que sugiere que la misma fue independiente de las condiciones ambientales, por lo cual la obtención de plantas bien desarrolladas depende directamente de una óptima calidad de estaca-semilla.
- El cultivar Palomita demostró ser más precoz, ya que la diferenciación de raíces tuberosas y la acumulación de biomasa en las mismas comenzó antes que en el cultivar Rama Seda.
- El cultivar Palomita resultó tener una mayor eficiencia y plasticidad productiva ya que presentó valores de peso seco de raíces tuberosas similares en las diferentes condiciones a la que fue sometida, a pesar de haber generado menor biomasa aérea en condiciones restrictivas (serie Treviño).
- El número de raíces tuberosas final fue significativamente superior en Rama Seda. Al no encontrarse diferencias entre los sitios se podría suponer que el número de raíces tuberosas es una característica inherente al genotipo.
- La máxima acumulación de biomasa en raíces tuberosas (PSRT) se alcanzó a los 280 DDP en ambos cultivares siendo significativamente superior el rendimiento en Rama Seda con $22,6 \text{ t ha}^{-1}$ vs. $11,8 \text{ t ha}^{-1}$ de Palomita.
- El peso seco de raíces tuberosas individuales no presentó diferencias entre cultivares, por lo que podría decirse que el número de raíces tuberosas resultó ser el componente más influyente en el rendimiento.
- La serie Loreto se destacó en cuanto al rendimiento de raíces tuberosas con $20,2 \text{ t ha}^{-1}$ respecto a los demás sitios.
- La serie Treviño resultó marginal para el cultivo de mandioca en condiciones de elevadas precipitaciones, sobre todo si se producen en los períodos de formación de tallos y hojas y de engrosamiento de raíces tuberosas.
- La absorción de macronutrientes estuvo estrechamente relacionada con la producción de biomasa.
- La dinámica de absorción de nutrientes fue similar para los dos cultivares evaluados, Rama Seda y Palomita, y siguió la tendencia de la curva de producción de biomasa.
- Rama Seda fue el cultivar que realizó la mayor extracción de nutrientes, dada su mayor producción de biomasa.
- El K fue el nutriente más absorbido, con una tasa máxima entre los 150 y 210 DDP.
- K demostró estar relacionado con la fracción radical ya que su máxima tasa de absorción fue igual entre campañas, coincidiendo con la fase de engrosamiento de raíces tuberosas.
- N se relacionó con ambas fracciones. Presentó su mayor tasa de absorción en la fase de crecimiento de tallos y hojas, y su mayor concentración en plantas en la fase de engrosamiento de raíces tuberosas.
- Como el comportamiento de Ca, Mg y P no presentó un patrón definido entre campañas, se recomienda realizar nuevas evaluaciones para dilucidar su partición en la planta.

- Respecto a los nutrientes analizados, la máxima concentración en plantas se registró a los 210 DDP, excepto Mg en el cual no se pudo establecer un comportamiento definido entre campañas.
- La concentración de todos los macronutrientes disminuyó hacia el final del ciclo, excepto P en la primera campaña, K y Mg en Rama Seda en la segunda campaña.
- La serie Loreto fue el sitio de mayor extracción de macronutrientes, principalmente K y N.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Alves, A.A.C. 2002.** Cassava botany and physiology. En: Hillocks, R.J., J.M. Tresh y A.C. Bellotti (Eds.), Cassava biology, production and utilization. CABI Publishing, Oxon, New York, p. 67-89.
2. **A.O.A.C. 2012.** Official Method of Analysis. 19th Ed. Association of Official Analytical Chemists, EE.UU. 2610 pp.
3. **APG (The Angiosperm Phylogeny Group) IV. 2016.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society 181: 1-20.
4. **Aristizábal, J. y Calle, F. 2015.** Producción, procesamiento, usos y comercialización de mandioca. Cuadernillo tecnológico N° 22. 78 pp.
5. **Asher, C.J.; Eduards, D.G. y Howeler, R.H. 1980.** Desórdenes nutricionales de la yuca. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 48 pp.
6. **Bertsch, F. 1995.** La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 pp.
7. **Bertsch, F. 2005.** Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones agronómicas. 57: 1-10.
8. **Bogado, F.; Malawka Henain; I.; Bertollo, J.; Paredes, F.; Caponio, I.; Norrmann, G. y Medina, R. 2016.** Evaluación de descriptores agromorfológicos del germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Corrientes. Jornadas Regionales de Genética. Corrientes, Argentina.
9. **Burgos, A. 2009.** Ecofisiología de los cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) "Palomita" y "Amarilla" en el noroeste de la provincia de Corrientes. Tesis para optar al grado de Magister en Producción Vegetal, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Corrientes. 141 pp.
10. **Burgos, A. 2018.** Estado actual del cultivo de Mandioca en la República Argentina. Agrotecnia 27: 14-18.
11. **Cadavid López, L. F. 1988.** Efecto de fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrimentos en yuca. Tesis M. Se. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 269 pp.
12. **Cadavid López, L.F. 2004.** Manual de producción de yuca. En: Aristizábal, J. y Calle, F. Producción, procesamiento, usos y comercialización de mandioca. Cuadernillo tecnológico N° 22. 78 pp.
13. **Cadavid López, L. F. 2008.** Fertilización del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical)-CLAYUCA (Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca). Cali, Colombia. 65 pp.
14. **Carnevali, R. 1994.** Fitogeografía de la provincia de Corrientes. Gobierno de la Provincia de Corrientes e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Corrientes, Argentina. 326 pp.
15. **Carsky, R. y Toukourou, M. 2005.** Identification of nutrients limiting cassava yield maintenance on a sedimentary soil in southern Benin, West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 71(2): 151-162.
16. **Castro, P. y Kluge, R. 1999.** Ecofisiología de cultivos anuales trigo, milho, soja, arroz e mandioca. Livraria Nobel. São Paulo. 126 pp.
17. **Ceballos, H. y G. de la Cruz. 2002.** Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ospina, B. y H. Ceballos (Eds.). La yuca en el Tercer Milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT, Cali, Colombia. p. 16-32.

18. **Cenóz, H.; Henáin, A. y Bertini, D. 1969.** Descripción de clones de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz), cultivados en el nordeste argentino. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 22 pp.
19. **Cenóz, P. J.; López, A. y Burgos, A. 2001.** Efecto de los macronutrientes en el desarrollo y rendimiento de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Agrotecnia 7: 9-12.
20. **Cenóz, P. y Burgos, A. 2006.** Plantación directa en el cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). XXIX Congreso Argentino de Horticultura, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.
21. **CIAT. 1981.** Cassava Program Annual Report. 1980, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali. 63 pp.
22. **Ciferri, R. 1938.** Saggio di classificazione delle razze di mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Relazioni e Monografie Agrario-Coloniali 44: 58 pp.
23. **Cock, J.H. 1979.** The ideal cassava plant for maximum yield. Crop Science 19: 271-279.
24. **Cock, J.H. 1983.** Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo de la planta de yuca. En: Domínguez M. (Ed.). Yuca: investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Yuca. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. p. 51-74.
25. **Coluccio, F. 1948.** Diccionario Folklórico Argentino. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina. 203 pp.
26. **Corominas, J. 1954.** Diccionario crítico etimológico de la Lengua Castellana. Volumen 3. Gredos, Madrid, España. 1117 p.
27. **Cours, G. 1951.** Le manioc a Madagascar. Memoires de l'Institut Scientifique de Madagascar. Serie B: Biologie Vegetale, Antananarivo. Madagascar. 3(2): 203-416.
28. **De Diego, G.E. y Quirós, B.J. 2006.** Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*) en El Tanque de La Fortuna, San Carlos, Alajuela. Tesis de Licenciatura, Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional, San Carlos. 187 pp.
29. **De Tafur, S.; El-Sharkawy, M.; y Calle, F. 2004.** Photosynthesis and yield performance of cassava in seasonally dry and semiarid environments. Photosynthetica 33: 249-257.
30. **Di Benedetto, A. y Tognetti, J. 2016.** Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. Revista Investigación Agropecuaria 42(3):258-282.
31. **Di Rienzo J.; Casanoves F.; Balzarini M.; Gonzalez L.; Tablada M. y Robledo C.** InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
32. **Domínguez, C. 1981.** Morfología de la planta de yuca. CIAT, Cali, Colombia. 44 pp.
33. **Domínguez, C.; Ceballos L. y Fuentes, C. 1983.** Morfología de la planta de yuca. En: Domínguez, C. (Ed.). Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Yuca, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. p. 29-49.
34. **El-Sharkawy, M. 1993.** Drought-tolerant cassava for Africa, Asia, and Latin America. BioScience 43: 441-451.
35. **El-Sharkawy, M.; De Tafur, S. y Cadavid, L. 1993.** Photosynthesis of cassava and its relation to crop productivity. Photosynthetica 28: 431-438.
36. **El-Sharkawy, M. 2003.** Cassava biology and physiology. Plant Mol. Biol. 53: 621-645.
37. **Escobar, E. H.; Ligier, D.; Melgar, M.; Matteio, H. y Vallejos, O. 1996.** Mapa de suelos de los Departamentos de Capital, San Cosme e Itatí de la Prov. de

- Corrientes, Argentina. Convenio del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-ICA) y Provincia de Corrientes-CFI, Argentina. 129 pp.
38. **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013.** Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets. Roma, Italia. 133 pp.
 39. **FAOSTAT. 2015.** Producción. Cultivos primarios. Base de datos estadísticos de la FAO. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
 40. **Fernández, L.; Gávez, G. y Fundora, Z. 2000.** Estudio de la heredabilidad del rendimiento y sus componentes en la yuca. Cultivos tropicales 21 (2): 37-42.
 41. **Furcal Beriguete, P.; Gadea, A.; De Diego, G.E. y Quirós, B.J. 2009.** Absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). Análisis de crecimiento del cultivo de la yuca. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
 42. **Henry, G. y Hershey, C. 2002.** Cassava in South America and the Caribbean. En: Hillocks, R.J., J.M. Tresh y A.C. Bellotti (Eds.). Cassava: biology, production and utilization. CABI Publishing. Oxon, New York. p. 17- 40.
 43. **Hershey, C. H. 1991.** Mejoramiento Genético de la Yuca en América Latina. CIAT (Centro internacional de Agricultura Tropical), Colombia. 426 pp.
 44. **Hillocks, R. J.; Thresh, J. M. y Bellotti, A. C. 2002.** Cassava: biology, production, and utilization. CABI Publishing. Nueva York, EE. UU. 332 pp.
 45. **Hinojosa G. F.; Cárdenas Guillén, M. y Álvarez P. H. 1995.** Manual de la yuca. INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Raíces y Tubérculos. Manual N° 29. Portoviejo, Ecuador. 61 pp.
 46. **Howeler, R. 1981.** Nutrición Mineral y fertilización de la yuca. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, Colombia. 55 pp.
 47. **Howeler, R. y Cadavid, L. 1983.** Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. Field Crops Research 7 (2). 123-139.
 48. **Howeler, R. 2002.** Cassava mineral nutrition and fertilization. En: Hillocks, R.J., J.M. Tresh y A.C. Bellotti (Eds.). Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, Oxon, New York. p. 115-147.
 49. **Imas P y John K. 2013.** Research Findings. Potassium Nutrition of Cassava. International Potash Institute, 60 Anniversary 1952-2012, e-ifc 34.
 50. **Jansson, S. 1980.** Potassium Requirements of Root Crops. En: Potassium Requirements of Crops. IPI Research Topic N° 7. International Potash Institute, Switzerland. p. 47-62.
 51. **Jennings, D.L. 1995.** Cassava. En: Smart, J. y Simmonds, N. (Eds.), Evolution of crop plants. 2nd edition. Longman Scientifics and Technical. p. 128-132.
 52. **Jumelle, H. 1910.** Les plantes á tubercules alimentaires. Doin et Fils, Paris, Francia. 372 pp.
 53. **Keating, B.; Evenson, J. y Fukai, S. 1982.** Environmental effects on growth and development of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). II. Crop growth rate and biomass yield. Field Crops Research 5: 283-292.
 54. **Lenis, J.; Calle, F.; Jaramillo, G.; Perez, J.; Ceballos, H. y Cock, J. 2006.** Leaf retention and cassava productivity. Field Crop Research 95: 126-134.
 55. **Lorenzi, J. O. 1978.** Absorção de macronutrientes e acumulação de matéria seca para duas cultivares de mandioca. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 92 pp.
 56. **Lorenzi, J.O.; Gallo, J.R. y Malavolta, E. 1980.** Acumulação de matéria seca e macronutrientes por dois cultivares de mandioca. Bragantia 40, (1):145-156.
 57. **Lorenzi, J. O. 2012.** Mandioca. 2 ed. CATI. Campinas, São Paulo. 129 pp.
 58. **Malavolta, E.; Vitti, G. y De Oliveira, S. 1997.** Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicaciones POTAFOS. 2da. Edição. Piracicaba, Brasil. 201 pp.

59. **Medina, R. D.; Faloci, M. M.; Gonzalez, A. M. y Mroginski, L. A. 2007.** *In vitro* cultured primary roots derived from stem segments of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) can behave like storage organs. *Annals of Botany* 99: 409-423.
60. **Mejía de Tafur S. 2002.** Fisiología de la yuca. En: Ceballos, H; Ospina, B. (Eds.). La yuca en el tercer milenio. CIAT. Palmira, Colombia. p. 34-45.
61. **Montaldo, A. 1979** La Yuca o Mandioca. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 386 pp.
62. **Murphy GM (Ed.). 2008.** Atlas agroclimático de la Argentina. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 130 pp.
63. **Ñústez, C.E.; Santos M. y Segura M. 2009.** Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín, Colombia.* 62 (1): 4823-4834.
64. **Oelsigle, D.D. 1975.** Accumulation of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Turrialba* 25 (1): 85-87.
65. **Parry, M.M.; Carvalho, J.G.; Kato, M.S.A. y Vielhauer, K. 2005.** Estado nutricional da mandioca cultivada em diferentes épocas sob cobertura morta e duas abudações. *Revista Ciência agrária. Belém.* 43: 91- 114.
66. **Pax, F. 1910.** Euphorbiaceae-Adrianeae. En: Engler, A. (Ed.) *Das Pflanzenreich*, IV. 147.II. 44: 1-111.
67. **Pohl, J.B.E. 1827.** *Manihot aipi* Pohl. *Plantarum Brasiliae icones et descriptiones* 1 (29): 23.
68. **Ramanujam, T. 1985.** Leaf density profile and efficiency in partitioning dry matter among high and low yielding cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Field Crops Research, St. Paul,* 10: 291-303.
69. **Rengel, M.; Gil, F. y Montaña J. 2011.** Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. *Bioagro* 23 (1): p 43-50.
70. **Riaño H.N.M.; Arcila P.J.; JARAMILLO R.Á. y CHAVES C.B. 2004.** Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera. *Cenicafé* 55(4): 265-276.
71. **Rodríguez, Z.; Mármol, L.; Martínez. J. y Montiel, M. 2009.** Acumulación total y por órganos de macronutrientes en plantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. 'Tempranita' en la altiplanicie de Maracaibo *Revista Facultad Agronomía,* 26: 470-489.
72. **Sagrilo, E.; Vidigal Filho, P.; Pequeno, M.; Scapim, C.; Gonçalves-Vidigal, M.; Maia, R. y Kvitschal, M. 2002.** Efeito da época de colheita no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade de raízes de três cultivares de mandioca. *Bragantia* 61:115-125.
73. **Sagrilo, E.; Vidigal Filho, P.; Pequeno, M., Gonçalves Vidigal, M.; Scapim, C.; Kvitschal, M.; Maia, R. y Rimoldi, F. 2006.** Effect of harvest period on foliage production and dry matter distribution in five cassava cultivars during the second plant cycle. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49 (6): 1007-1018
74. **Sangoi, L. y Krause, N. D. 1993.** Acúmulo e distribuição de matéria seca em diferentes frações da planta de mandioca no planalto catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, Brasil* 28 (10): 1151-1164.
75. **Sarr, S.; Araki, S.; y Njukwe, E. 2013.** Interactions between cassava varieties and soil characteristics in crop production in Eastern Cameroon. *African Study Monographs* 34 (4): 187–202.
76. **Silva, H.R.F.; Lopes M.V.; Dourado P.D.; Muniz de Assis, Y.J. y dos Reis Sales, H. 2014.** Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. *Pesquisa Agropecuaria Tropical, Goiania,* 44 (1):15-23.

77. **Soil Survey Staff (2014)**. Claves para la Taxonomía de Suelos, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 410 pp.
78. **Solórzano, V. 1975**. Efectos del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) sobre los nutrientes del suelo. s.n.t. 87 pp.
79. **Souza, L.S. 2006**. Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Crus das Almas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 817 pp.
80. **Souza D.S., N.; Arcanjo A., J.M.; Pereira U., S.C.; Trajano O., N. y de Anchieta A.A., J. 2014**. Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. Universidade Federal do Ceará, Brasil, Revista Ciência Agronômica 45 (4): 633-640.
81. **Steel, G.R.D. y Torrie, H.J. 1993**. Bioestadística: principios y procedimientos. 2da. Edición. Mc Graw-Hill. México. 622 pp.
82. **Távora, F. A. F.; Melo, F.; Pinho, J. L. N. y de Queiroz G. M. de. 1995**. Produção, taxa de crescimento e capacidade assimilatória da mandioca no Litoral do Ceará. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, São Carlos, 7: 81-88.
83. **Tekalign, T. y Hammes, P. 2005**. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. Scientia Horticulturae 105 (1): 13–27.
84. **Ternes, M. 2002**. Fisiología da planta. En: Cereda, M.P. (Ed.) Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundación Cargill. San Pablo, Brasil. p. 66-82.
85. **Toro, J.C., y Cañas, A. 1983**. Determinación del contenido de material seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica. En: Domínguez, C. Yuca: investigación, producción y utilización. PNUD-CIAT. Cali, Colombia. 656 pp.
86. **UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). 2015**. Infocomm Commodity Profile Cassava. Recuperado de: <http://www.unctad.info/en/Infocomm/AACP-Products/COMMODIRY-PROFILE--Cassava/>
87. **von Crantz, H.J.N. 1766**. *Manihot esculenta* Crantz. Institutiones Rei Herbariae 1: 167.