

**Producción y valor nutricional del residuo de hojas de *Manihot esculenta* Crantz durante dos ciclos productivos****Production and nutritional value of *Manihot esculenta* Crantz leaf residue during two production cycles**

Angela María Burgos<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1867-4471>, Alcides M. M. Michellod<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0007-9088-416X>, Miriam Porta<sup>1,2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2199-9434> y Claudina María Hack<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2149-6204>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE). Cátedra de Cultivos III. Departamento de Producción Vegetal. Ruta Nacional No. 12, Km 1031-

<sup>2</sup>Instituto Agrotécnico Pedro Fuentes Godo. Correo electrónico: burgosangela@agr.unne.edu.ar, miguelmichellod7@hotmail.com, miriaporta@yahoo.com.ar, claudinahack@yahoo.com.ar

**Resumen**

**Objetivo:** Caracterizar la dinámica de la producción y el valor nutricional de la biomasa fresca y seca de hojas que resulta como residuo agrícola de la producción de raíces de *Manihot esculenta* Crantz.

**Materiales y Métodos:** El lugar de experimentación fue el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste en Corrientes, Argentina. Los cultivares evaluados fueron Verde Santa Ana, Amarilla Marcelo, Palomita, Blanca de Santa Catarina, Rocha, Ramada Paso y Yerutí, cada uno constituyó un tratamiento y se distribuyeron en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los muestreos se realizaron en siete momentos durante los 18 meses del ciclo de cultivo y en cada instancia se determinó la biomasa fresca y seca de hojas, el contenido de proteína bruta y la digestibilidad de las muestras. Se realizó análisis de varianza y separación de medias por test de Duncan (0,05 %).

**Resultados:** La producción promedio de biomasa seca fue de 649 kg ha<sup>-1</sup> y varió entre los momentos de cosecha, con reducciones significativas durante el receso invernal. La producción promedio de biomasa fresca y seca de hojas a los 18 meses superó estadísticamente todos los demás muestreos ( $p \leq 0,0001$ ) y alcanzó valores de 5 390,9 y 1 240 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los porcentajes de proteína bruta y la digestibilidad variaron significativamente en el tiempo, con promedios de 22,5 y 47,4 %, respectivamente.

**Conclusión:** Los resultados mostraron una producción significativamente mayor de biomasa fresca y seca durante los meses de activo crecimiento, mientras que la producción se redujo significativamente durante el invierno. Además, hubo variaciones en la concentración de proteína bruta y la digestibilidad de la biomasa de hojas durante el experimento. Los estudios contribuyen al entendimiento de la dinámica de producción de biomasa en *M. esculenta*. Estos hallazgos pueden tener implicaciones para la mejora de prácticas agrícolas sostenibles y el desarrollo de nuevos alimentos derivados de esta planta para la producción animal.

**Palabras clave:** forraje, alimento nitrogenado, nutrición, rendimiento

**Abstract**

**Objective:** To characterize the production dynamics and nutritional value of fresh and dry leaf biomass resulting as agricultural residue from root production of *Manihot esculenta* Crantz.

**Materials and Methods:** The experimental site was the Experimental Field of the School of Agricultural Sciences of the National Northeast University in Corrientes, Argentina. The evaluated cultivars were Verde Santa Ana, Amarilla Marcelo, Palomita, Blanca de Santa Catarina, Rocha, Ramada Paso and Yerutí, each of which constituted a treatment and were distributed in randomized complete blocks with three replicas. Sampling was carried out at seven times during the 18 months of the crop cycle and in each instance the fresh and dry biomass of leaves, crude protein content and digestibility of the samples were determined. Analysis of variance and separation of means by Duncan's test (0,05 %) were performed.

**Results:** Average dry biomass production was 649 kg ha<sup>-1</sup> and varied among harvest times, with significant reductions during the winter break. Average fresh and dry leaf biomass production at 18 months statistically exceeded all other samplings ( $p \leq 0,0001$ ) and reached values of 5 390,9 and 1 240 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Crude protein percentages and digestibility varied significantly over time, with averages of 22,5 and 47,4 %, respectively.

**Conclusion:** The results showed a significantly higher production of fresh and dry biomass during the months of active growth, while production was significantly reduced during winter. In addition, there were variations in crude protein concentration and leaf biomass digestibility during the experiment. The studies contribute to the understanding of biomass production dynamics in *M. esculenta*. These findings may have implications for the improvement of sustainable agricultural practices and the development of new feedstuffs derived from this plant for animal production.

**Keywords:** forage, nitrogen feedstuff, nutrition, yield

Recibido: 14 de mayo de 2024

Aceptado: 12 de septiembre de 2024

Como citar este artículo: Burgos, Angela María; Michellod, Alcides M. M.; Porta Miriam & Hack, Claudina María. Producción y valor nutricional del residuo de hojas de *Manihot esculenta* Crantz durante dos ciclos productivos. *Pastos y Forrajes*. 47:e13, 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

## Introducción

Una limitación de la ganadería, de la región del nordeste de Argentina (NEA) es la disminución de la producción y calidad del forraje en invierno, lo que constituye la principal causa de los bajos índices zootécnicos de la ganadería regional, baja producción de leche por lactancia e intervalos largos entre pariciones. Esta baja productividad animal repercute negativamente en la generación de ingresos de los productores y hace ineficiente el sistema de producción. La utilización de cultivos forrajeros alternativos o el uso de los residuos agrícolas de cosecha (RAC) que compensen el déficit de disponibilidad y calidad de los pastos durante las épocas críticas, es parte de la solución para aumentar la productividad de la ganadería bovina y así, mejorar su rentabilidad. Según lo expuesto por Bayona-Buitrago *et al.* (2022), los gobiernos impulsan planes de desarrollo sostenible a nivel mundial, de manera que se disponga de manera segura de los residuos, como las cáscaras y hojas de *Manihot esculenta* Crantz con destino agroindustrial para la alimentación humana y animal (Díaz-Tatis *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2022). En esta dirección, las hojas de *M. esculenta* por su potencial forrajero se podrían integrar en los sistemas de producción agropecuarios del NEA y enmarcarse en un sistema de economía circular de reducción de desperdicios, sugerido por el Plan Nacional de Reducción de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación Argentina (Ley Nacional 27.454/2018) en el actual contexto socioeconómico y productivo global (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2018; Díaz *et al.*, 2022). La reducción de desperdicios y pérdidas se ha identificado como un desafío en la Agenda 2030 entre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), fijada por las Naciones Unidas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos sus habitantes (FAO *et al.*, 2021).

En Argentina, el cultivo de *M. esculenta* abarca 15 000 ha destinadas, exclusivamente, a la producción de raíces para consumo en fresco e industria de fécula. Tradicionalmente, las hojas han sido desperdiciadas como RAC, pero Burgos *et al.* (2019), Porta *et al.* (2020) y Leguizamón *et al.* (2021) han realizado recientes investigaciones en la zona NEA, relacionadas con su potencial forrajero, y han validado que resultan un recurso altamente nutritivo por su aporte proteico. A pesar de las múltiples ventajas que se informan para este cultivo (resistencia a sequía, a plagas, a enfermedades y a suelos de baja

fertilidad), su uso como forraje alternativo en la alimentación animal, fresco o conservado, no se ha generalizado en la región.

Existen pocos estudios que expliquen la producción biológica y la calidad nutricional del follaje, asociados a diferentes fechas de cosecha de las raíces y a diferentes cultivares de *M. esculenta*, menos aún en las condiciones subtropicales de producción.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la dinámica de la producción y el valor nutricional de la biomasa fresca de hojas que resulta como residuo agrícola de la producción de raíces de *M. esculenta*.

## Materiales y Métodos

*Sitio de experimentación.* El lugar donde se realizó la experimentación fue el Campo Didáctico Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), localizado en el departamento Capital de la Provincia de Corrientes (27°28' 27.23''S; 58°47'00.6''O; 50 msnm).

*Caracterización climática.* La provincia de Corrientes se encuentra en una región subtropical. Según la clasificación de Köppen modificada, el clima se clasifica como mesotermal húmedo, Cf w'a (h). La precipitación media anual oscila entre 1 300 y 1 400 mm. La temperatura media anual es de 21,6 °C, la media mínima es inferior a 18 °C. La frecuencia de ocurrencia de heladas es de 0,5 al año.

Con los datos meteorológicos obtenidos del Instituto Correntino del Agua y del Ambiente (ICAA, 2022), se elaboraron climogramas con las precipitaciones (mm) y temperaturas medias mensuales (°C) de las campañas agrícolas durante las que se desarrolló el experimento en comparación con los valores promedios históricos para la localidad de Corrientes, Argentina (figuras 1 y 2).

*Caracterización edáfica.* El suelo del lote de experimentación ha sido clasificado como Udipsamment árgico. En cuanto a la génesis y taxonomía de los suelos, se clasifica como hipertérmico y údico. Presenta textura arenosa en superficie y franco arcillo arenosa en la subsuperficie. El suelo no presenta impedancia en el perfil para el crecimiento de raíces de *M. esculenta*, por lo que ofrece excelentes condiciones físicas para este cultivo. El resultado del análisis químico del suelo del sitio de experimentación se presenta en la tabla 1.

El suelo del experimento (tabla 1) mostró contenido de materia orgánica (MO) promedio de 1,02 % que se encuentra en el rango del nivel crítico (1 %) para el cultivo de *M. esculenta*. El contenido

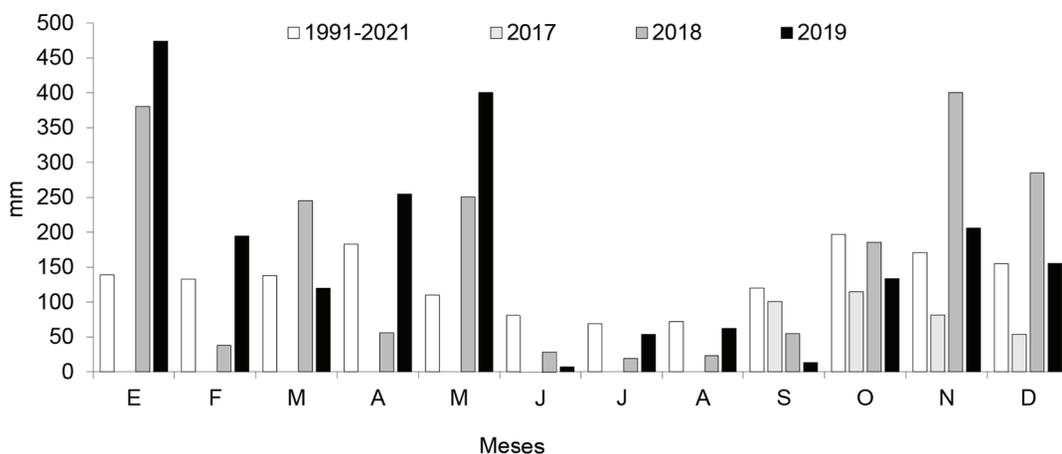


Figura 1. Distribución de las precipitaciones medias en la campaña ensayada (2017-2018 y 2018-2019) y su comparación con los valores de la serie histórica de la misma región (1991-2021). Corrientes, provincia de Corrientes.

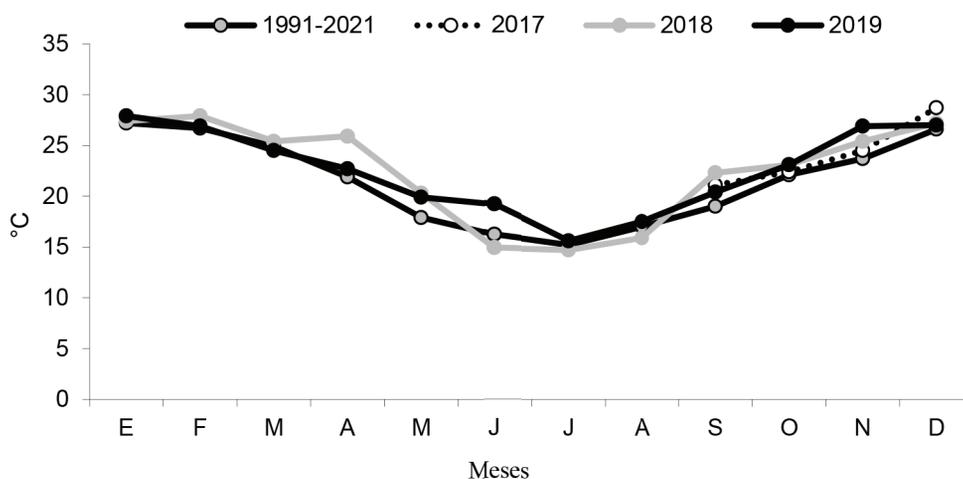


Figura 2. Climograma de temperatura media en la campaña evaluada (2017-2018 y 2018-2019) y su comparación con los valores de la serie histórica de la misma región (1991-2021). Corrientes, Provincia de Corrientes.

Tabla 1. Análisis químico del suelo del sitio de experimentación. Corrientes, Argentina 2019.

Profundidad, cm	pH	N	Materia orgánica	K	Ca	Mg	P
			%		meq/100g		ppm
0-10	5,56	0,04	1,34	0,13	1,60	0,43	9
10-20	5,57	0,04	0,70	0,14	1,49	0,11	12

de P se encontraba en un nivel medio (4-15 ppm), el de K en un nivel adecuado (0,10-0,15 meq 100 g<sup>-1</sup>), el de Ca en un nivel medio (1-5 meq 100 g<sup>-1</sup>) y el de Mg en un nivel muy bajo (<1 meq 100 g<sup>-1</sup>).

**Caracterización del material biológico.** Los cultivares de *M. esculenta* que se utilizaron en la experimentación, se reconocen localmente por sus

nombres vernáculos: Verde Santa Ana, Amarilla Marcelo, Palomita, Blanca de Santa Catarina, Rocha, Ramada Paso y Yerutí.

**Diseño experimental.** El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar, con siete tratamientos (T), representados por los cultivares de *M. esculenta* en sí mismos, con tres repeticiones

cada uno: Verde Santa Ana (T1), Amarilla Marcelo (T2), Palomita (T3), Blanca Santa Catarina (T4), Rocha (T5), Ramada Paso (T6) y Yerutí (T7). Las dimensiones de las unidades experimentales fueron de 40 x 8 m, y cada bloque de 8 x 12 m con un diseño completamente aleatorizado. Cada bloque contaba con 7 hileras de plantas y en cada hilera se ubicaban 13 plantas. Se estableció una línea de *M. esculenta* periférica alrededor de todo el lote a fin de establecer una bordura.

Los muestreos se realizaron en siete momentos en el ciclo de cultivo, desde marzo, 6 meses después de la poda (mdp) hasta junio (9 mdp), los que se correspondieron con el primer ciclo del cultivo. Después de la fase de reposo invernal, los muestreos correspondientes al segundo ciclo (posrebrote) se realizaron en tres oportunidades más durante septiembre (12 mdp), diciembre (15 mdp) y marzo (18 mdp), respectivamente.

En cada una de las siete fechas de muestreo, se midieron tres plantas por tratamiento, de manera que cada tratamiento constaba de 21 plantas muestreadas en el tiempo, desde los 6 y hasta los 18 mdp.

**Procedimiento experimental.** La plantación se realizó en igualdad de condiciones, densidad y fecha para uniformizar las condiciones del ensayo. La plantación se realizó manualmente, el día 27 de septiembre de 2017, con la utilización de estacas caulinares, de 10 a 15 cm de longitud en posición horizontal, con marco de plantación de 1 x 1 m. La profundidad de plantación fue de 8 cm.

Se realizaron fertilizaciones según las recomendaciones de Howeler (2014) para que los cultivos no presenten restricciones nutricionales. Con los datos del requerimiento ponderado del cultivo (RPC), determinados por Howeler (2014), la disponibilidad del nutriente en el suelo (S) (tabla 1) y la eficiencia estimada del fertilizante (E) fue necesario aplicar 14 g de N por planta (30 g de urea). Esta dosis se fraccionó en dos aplicaciones equivalentes de 15 g planta<sup>-1</sup> de urea cada una, dispuestas a los 30 y 75 días después de la plantación, respectivamente. Las malezas se controlaron por medio de limpiezas manuales y aplicaciones oportunas de herbicidas. El control químico preemergente se realizó con mochila manual, utilizando un herbicida residual Dual Gold®, a razón de 2 L ha<sup>-1</sup> en el momento de la plantación. En posemergencia se aplicó Glifosato, dirigido con mochila manual con pantalla (2 L ha<sup>-1</sup>) en las entrelineas. Finalmente, en la línea se reforzaba el control de las malezas con limpiezas manuales.

**Variables medidas.** Las determinaciones de la biomasa fresca de la hoja (BFh) y de la biomasa seca de las hojas (BSh) en cada una de las fechas de muestreo consistieron en extraer la totalidad de las hojas de plantas diferentes y pesarlas en una báscula para determinar el peso en gramos planta (g planta<sup>-1</sup>). Posteriormente, se secaban en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso constante y se determinaba el porcentaje de materia seca de la muestra. El peso de la BFh y de la BSh se multiplicaba por la cantidad de plantas en la hectárea (10 000) y se estimaba la producción expresada en kg ha<sup>-1</sup>.

Una vez pesado el material fresco, se realizaba un cuarteo y se separaban tres muestras de BFh de cada tratamiento. Se secaron en una estufa de tiro forzado a 60 °C y se molieron para estimar:

**Proteína bruta (PB %):** se calculó por fórmula a partir del contenido de N foliar determinado por digestión nítrica-perclórica (AOAC, 2019), al multiplicarlo por el factor de conversión PB= N (%) x 6,25. ii) **Digestibilidad (DIG %).** Este valor se calculó mediante la fórmula propuesta por Undersander *et al.* (1993), donde: DIG = 88,9 - (% FDA x 0,779).

El contenido de fibra detergente ácido (FDA %) se determinó por el método de Van Soest y Wine (1967). Los valores obtenidos son válidos para comparar las variedades entre sí, pero no como equivalentes a los forrajes. Todas las determinaciones químicas se hicieron por triplicado.

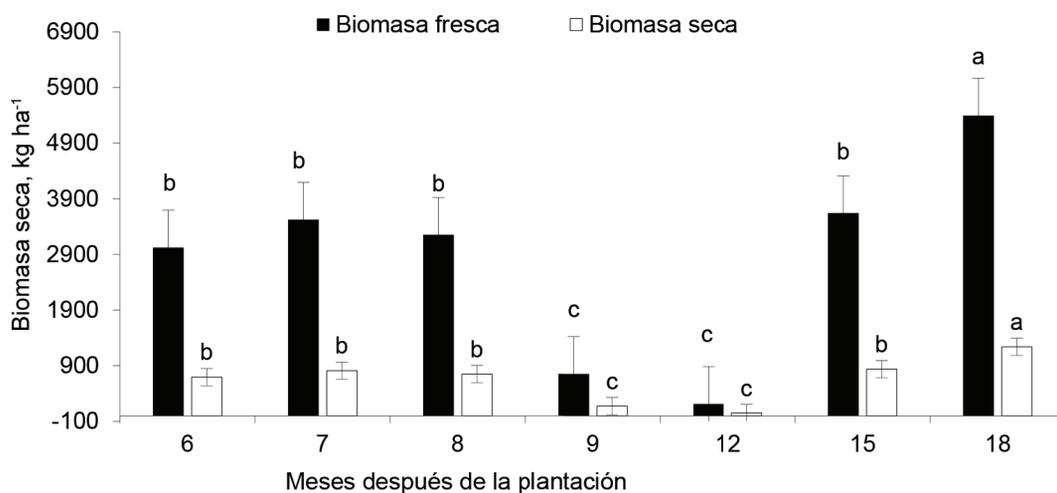
**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de la varianza y diferencias de medias por el test de Duncan (0,05 %). Las variables asociadas a la biomasa de hojas (BFh y BSh) se transformaron para su análisis con la aplicación del Log 10. El programa utilizado para el análisis estadístico fue InfoStat vers. 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

## Resultados y Discusión

Los resultados asociados a la biomasa fresca (BFh) y seca (BSh) de hojas de los cultivos de *M. esculenta* en estudio, entre los 6 y 18 meses después de la plantación (mdp), se muestran en las figuras 3 y 4.

El análisis estadístico de este experimento demostró que la biomasa (BFh y BSh) sólo se afectó por las fechas de muestreo (figura 3,  $p \leq 0,0001$ ), y no por los cultivos (figura 4,  $p = 0,7670$ ).

Durante los muestreos realizados en el primer trimestre (meses 6, 7 y 8), no se observaron diferencias significativas en la producción de BFh y BSh. Si se sumaran estos datos, proporcionarían una producción total de 9 760 o 2 252 kg ha<sup>-1</sup>, equivalente



Letras minúsculas desiguales indican que hay diferencias estadísticas entre medias según Duncan  $p \leq 0,05$ .

Figura 3. Valores medios de la biomasa fresca y seca de hojas en cada fecha de muestreo entre los 6 y los 18 meses después de plantación ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

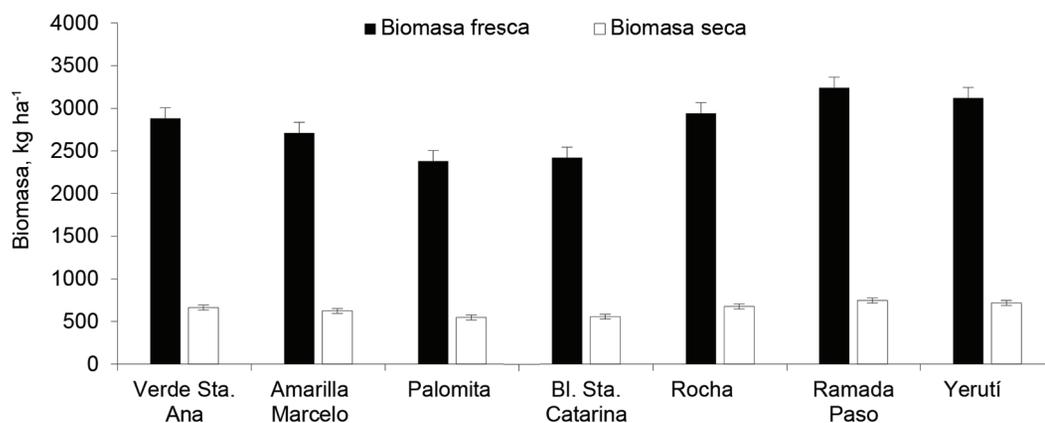


Figura 4. Valores medios de la biomasa fresca y seca de hojas de los cultivares al cabo de las siete fechas de muestreo entre los 6 y los 18 meses después de plantación ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

a un promedio mensual de 3 263 o 750  $\text{kg ha}^{-1}$  de follaje fresco o seco, respectivamente, apto para cosecha (figura 3).

Una reducción significativa de la BFh y BSh se produjo entre los 9 y los 12 mdp (junio y septiembre), que coinciden con la entrada (9 mdp) y la salida (12 mdp) de la fase de reposo invernal, que ocurre en las condiciones agroecológicas subtropicales de Argentina (figura 3). La ocurrencia del reposo invernal, inducida por las bajas temperaturas, dividió al cultivo en dos ciclos de crecimiento. El primer ciclo, que ocurre desde la plantación hasta los 9 mdp, y el segundo ciclo que se inicia con el rebrote bajo las condiciones de primavera 12 (mdp). En el primer ciclo de crecimiento, la planta presentó actividad fisiológica hasta 8 mdp.

A partir de los 9 y hasta los 12 mdp, en pleno invierno y con temperatura media de 14,9 °C (junio de 2018, figura 2), las plantas en receso y con abscisión foliar, mostraron reducciones de 85,3 y 89,3 % de la producción de BFh (750 y 210  $\text{kg ha}^{-1}$ ) y BSh (142 y 48  $\text{kg ha}^{-1}$ ) respecto del promedio de los tres meses previos. En los muestreos realizados a los 9 y a los 12 mdp, no hubo diferencia significativa entre ellos (figura 3). La producción promedio calculada de BFh fue de 480  $\text{kg ha}^{-1}$  (110,4  $\text{kg ha}^{-1}$  de BSh), lo que representa 10 % de la producción promedio durante el período de crecimiento activo.

Transcurridos los primeros 8 mdp, cuando la temperatura media del ambiente supera a la temperatura base de 15 °C, establecida para el cultivo de *M. esculenta*, la planta muestra actividad fisiológica.

Sin embargo, para que se estimule el rebrote necesitará 28-30 °C y la producción de forraje se sostendrá con un óptimo de 20-24°C (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017). Además, para sostener el pico máximo de la brotación nueva de las hojas, que ocurre después del período de reposo (inducido por déficit hídrico y/o bajas temperaturas), se produce la movilización de las reservas de hidratos de carbono desde las raíces.

Durante los muestreos del segundo ciclo, se establecieron diferencias significativas en la producción de BFh (3 640,1 y 837,2 kg ha<sup>-1</sup>) y BSh (5 390,9 y 1 240 kg ha<sup>-1</sup>) entre los 15 mdp y 18 mdp, respectivamente, y de este último mes respecto a todos los demás muestreos previos (figura 3,  $p < 0,0001$ ). Si se sumaran las colectas de los últimos dos muestreos (15 y 18 mdp), alcanzarían 9 030 kg ha<sup>-1</sup> en BFh o 2 077 kg ha<sup>-1</sup> en BSh, un promedio de 4 515,5 y 1038 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La dinámica de la producción de la BFh y BSh observada a campo en las condiciones del NEA deja en claro que podría ser recolectada como RAC con destino forrajero, cuando se colectan las raíces de la planta fuera de la época invernal y se conservan para su posterior suministro (Tinini *et al.*, 2021).

La sumatoria de las siete colectas de BFh realizadas en este experimento alcanzó un total de 19 750 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representan hasta 4 600 kg ha<sup>-1</sup> de BSh en un lapso de 18 meses de producción. De esta última, 1 240 kg ha<sup>-1</sup> corresponderían al último mes de cosecha a los 18 mdp, que podrían servir para ser suministrados en fresco, ensilados o henuficados en lugar de desperdiciarlos, convirtiendo los residuos en alimento animal.

Durante el experimento, si bien hubo variaciones en la producción promedio de BFh y BSh acumulada por cada cultivar, esta no difirió de manera significativa entre ellos (figura 4,  $p = 0,7670$ ). Los valores extremos estuvieron comprendidos entre 2 420 y 3 240 kg ha<sup>-1</sup> de BFh para el cv. Blanca Santa Catarina y Ramada Paso, respectivamente, o su equivalente en BSh que se corresponden con 556 y 745 kg ha<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden con estudios realizados en Brasil por Costa *et al.* (2022), quienes no encontraron diferencias significativas en términos de productividad de la materia seca (MS) de la parte aérea ni en el porcentaje de MS de la parte aérea de variedades de *M. esculenta* comparadas con los 10 meses después de plantadas.

Al estudiar la dinámica de la producción de cada cultivar en particular, se observaron diferencias significativas temporales en la construcción de la BFh acumulada en todos, salvo en el cv. Palomita (tabla 2). La producción promedio de BFh no se afectó por los cultivares en cada fecha de muestreo (tabla 2).

Los resultados mostraron la capacidad intrínseca de retención foliar durante el invierno de los cultivares Verde Santa Ana, Amarilla Marcelo y Rocha, que les permitió concentrar la reducción significativa de la producción de BFh en el muestreo de los 12 mdp (tabla 2). En contraste, los cultivares Blanca Santa Catarina, Ramada Paso y Yerutí, experimentaron reducciones significativas en la BFh, desde los 9 y hasta los 12 mdp (tabla 2). A los 9 mdp, los tres primeros cultivares mencionados (Verde Santa Ana, Amarilla Marcelo y Rocha) presentaron como promedio 1 227 kg ha<sup>-1</sup> de BFh

Tabla 2. Valores medios de la biomasa fresca de hojas de los siete cultivares en estudio durante siete fechas de muestreo entre los 6 y a los 18 meses después de la plantación (kg ha<sup>-1</sup>).

Cultivar	Mes después de la plantación							CV, %	Valor - P
	6	7	8	9	12	15	18		
Verde Santa Ana	2 500,0 <sup>bc</sup>	3 333,6 <sup>bc</sup>	3 660,6 <sup>bc</sup>	1 500,6 <sup>b</sup>	170,6 <sup>a</sup>	3 500,0 <sup>bc</sup>	5 500,0 <sup>c</sup>	10,5	0,0001
Amarilla Marcelo	2 000,0 <sup>bc</sup>	3 160,6 <sup>cd</sup>	5 500,0 <sup>d</sup>	1 330,3 <sup>b</sup>	220,0 <sup>a</sup>	3 580,3 <sup>d</sup>	3 160,6 <sup>d</sup>	9,0	<0,0001
Palomita	1 330,3	2 330,3	2 940,3	560,0	250,6	2 500,0	6 790,3	24,9	0,0871
Blanca Sta. Catarina	4 500,0 <sup>d</sup>	4 500,0 <sup>d</sup>	2 220,3 <sup>cd</sup>	630,0 <sup>ab</sup>	180,6 <sup>a</sup>	3 400,0 <sup>cd</sup>	1 500,0 <sup>bc</sup>	13,8	0,0002
Rocha	3 000,0 <sup>cd</sup>	1 830,3 <sup>bc</sup>	3 540,0 <sup>cd</sup>	850,0 <sup>b</sup>	240,6 <sup>a</sup>	3 830,3 <sup>cd</sup>	7 330,3 <sup>d</sup>	10,3	0,0001
Ramada Paso	3 000,0 <sup>b</sup>	3 000,0 <sup>b</sup>	3 100,0 <sup>bc</sup>	170,0 <sup>a</sup>	250,0 <sup>a</sup>	4 830,3 <sup>bc</sup>	8 330,3 <sup>c</sup>	12,2	<0,0001
Yerutí	4 830,3 <sup>c</sup>	6 500,3 <sup>c</sup>	1 820,0 <sup>b</sup>	200,6 <sup>a</sup>	190,6 <sup>a</sup>	3 830,3 <sup>c</sup>	5 250,6 <sup>c</sup>	7,0	<0,0001
CV, %	11,4	9,4	9,8	25,5	8,6	12,6	14,2		
Valor - P	0,1099	0,0903	0,3162	0,0936	0,3981	0,8558	0,1715		

Letras diferentes dentro de cada fila indican que hay diferencias estadísticas entre fechas de muestreo según Duncan  $p \leq 0,05$ .  
CV: Coeficiente de variación

(282 kg ha<sup>-1</sup> de BSh), mientras que los otros tres cultivares (Blanca Santa Catarina, Ramada Paso y Yerutí) presentaron 330 kg ha<sup>-1</sup> (76 kg ha<sup>-1</sup> de BSh), casi cuatro veces menos (tabla 2).

Después del inicio de la primavera, 12 mdp, con temperatura media de 22,3 °C (septiembre de 2018, figura 2), las plantas encontraron condiciones para iniciar su segundo ciclo de crecimiento y a los 15 mdp (diciembre 2018) la cubierta vegetal se encontró completamente restituida en todos los cultivares respecto de los valores de BFh del muestreo previo a los 12 mdp y con valores estadísticamente iguales a los de los 8 mdp, e incluso estadísticamente superiores en el cv. Yerutí. En términos generales, los cultivares mantuvieron una producción estable y sin diferencias estadísticas de BFh a los 6, 7 y 8 mdp, salvo en el cv. Yerutí que solo mantuvo la producción de BFh estadísticamente estable entre los 6 y 7 mdp. El cv. Verde Santa Ana presentó una producción de BFh estadísticamente estable, prácticamente durante todos los meses de crecimiento activo (tabla 2).

La producción promedio de BFh a los 18 mdp superó estadísticamente a todos los demás muestreos ( $p \leq 0,0001$ ) y alcanzó a 5 390,9 kg ha<sup>-1</sup> (figura 3), que expresado en BSh es 1 240 kg ha<sup>-1</sup>. No se establecieron diferencias de orden estadístico entre los 15 y 18 mdp en cada cultivar (tabla 2).

Gómez *et al.* (2016), al estudiar la producción de forraje de tres variedades de *M. esculenta* en los períodos seco y lluvioso, bajo tres densidades de siembra y tres edades de cosecha en la región del caribe colombiano, encontraron que la producción de follaje, en el período húmedo fue 150 % superior a la del seco, lo que pone de manifiesto la incidencia de las condiciones climáticas en el rendimiento del forraje de *M. esculenta*. En las condiciones agroecológicas de la región NEA, el invierno impone tales restricciones al cultivo y a la producción de follaje en particular.

Específicamente, en mayo (8 mdp), se llega al fin del ciclo anual de producción para las condiciones subtropicales del nordeste de Argentina. Se cosechan las raíces y se cortan los tallos para conservarlos protegidos de la acción de las heladas, que podrían dañar sus yemas y dejar desprovistos a los productores del material de plantación para la próxima campaña. Esa instancia resulta el momento adecuado para seleccionar criteriosamente las ramas estaqueras a conservar por su calidad genética, fisiológica y sanitaria. Todo el remanente se puede destinar, en esa misma instancia, a su picado para

el suministro en fresco para alimentación animal o a conservarlo como silo, microsilo o heno. De allí que resulta de particular interés conocer acerca de la BFh y BSh del tercio superior de los diferentes materiales genéticos específicamente en mayo (8 mdp), que en general promedió 3 250,1 y 747 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, pero que alcanzó valores de 5 500 y 1 265 kg ha<sup>-1</sup> de BFh y BSh para el cv. Amarilla Marcelo, 3 660,67 y 842 kg ha<sup>-1</sup> para el cv. Verde Santa Ana y 3 540 o 814 kg ha<sup>-1</sup> para el cv. Rocha respectivamente (tabla 2).

Dado que la ecofisiología del cultivo está fuertemente afectada por las condiciones climáticas durante los 9 y 12 mdp que marcan el reposo fisiológico del subtropico, se consideró importante realizar un análisis de la dinámica de la producción de BFh entre cultivares durante las etapas de crecimiento activo del primer (6-8 mdp) y segundo ciclo (15-18 mdp) del cultivo (tabla 3).

Durante el primer ciclo de crecimiento, la producción de BFh y BSh no difirió entre cultivares (tabla 3,  $p$ -valor=0,1450). Durante el segundo ciclo de crecimiento y una vez restituido el dosel vegetal, a los 15 y 18 mdp, la producción de BFh y BSh tampoco manifestó diferencias de los cultivares (tabla 3,  $p$ -valor=0,2277). De acuerdo con lo observado, se puede aceptar la hipótesis nula: no hubo diferencia en la producción de BFh entre los cultivares durante las fases de crecimiento activo del cultivo.

En el primer ciclo, las producciones de BFh y BSh más notorias ocurrieron en los cultivares Blanca de Santa Catarina y Yerutí, mientras la del cv. Palomita fue la más reducida. Al analizar el comportamiento durante el segundo ciclo de crecimiento, la producción de BFh y BSh del cv. Ramada Paso superó ampliamente las medias calculadas para ese período (4 515,5 y 1 038,4 kg ha<sup>-1</sup>), mientras el cv. Blanca de Santa Catarina presentó la más baja producción es esa misma instancia (tabla 3).

Mientras los cultivares Amarilla Marcelo y Yerutí mostraron valores muy semejantes de BFh y BSh en el primer y segundo ciclo de crecimiento, otros mostraron producciones casi 100 % mayores durante el segundo ciclo, tal el caso de Palomita, Ramada Paso y Rocha.

La producción de BFh de un cultivo para fines forrajeros se debe analizar en términos nutricionales para poder poner en valor su aporte a la dieta animal. El valor de las hojas de *M. esculenta* se basa en el contenido proteico, que para algunos autores es aproximadamente de 24 %. De cualquier manera, el contenido de nutrientes del forraje y la

Tabla 3. Producción promedio de biomasa fresca y biomasa seca de hojas de los cultivares durante el primer y segundo ciclo de crecimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

Ciclo	mdp	Variable	Cultivares						CV, %	Valor-P	
			Amarilla Marcelo	Blanca Sta. Catarina	Palomita	Ramada Paso	Rocha	Verde Sta. Ana			Yerutí
1ro	6 a 8	BFh	3 550,1	3740,1	2 200,3	3 030,3	2 790,1	3160,7	4 380,4	11,1	0,1450
		BSh	816,5	960,2	506,0	697,0	642,0	727,0	1 000,0		
2do	15 a 18	BFh	3 370,5	2450,0	4 640,7	6 580,3	5 580,3	4 500,0	4 500,0	13,3	0,2277
		BSh	775,2	563,5	1067,3	1 513,4	1 283,4	1 035,0	1 035,0		

BFh: biomasa fresca de hojas, BSh: biomasa seca de hojas

digestibilidad puede variar en función del manejo de los cultivos, las edades del tejido al momento de los cortes, el ambiente, el material genético, las condiciones edafoclimáticas y agroecológicas, entre otros factores (Sosa-Montes *et al.*, 2020).

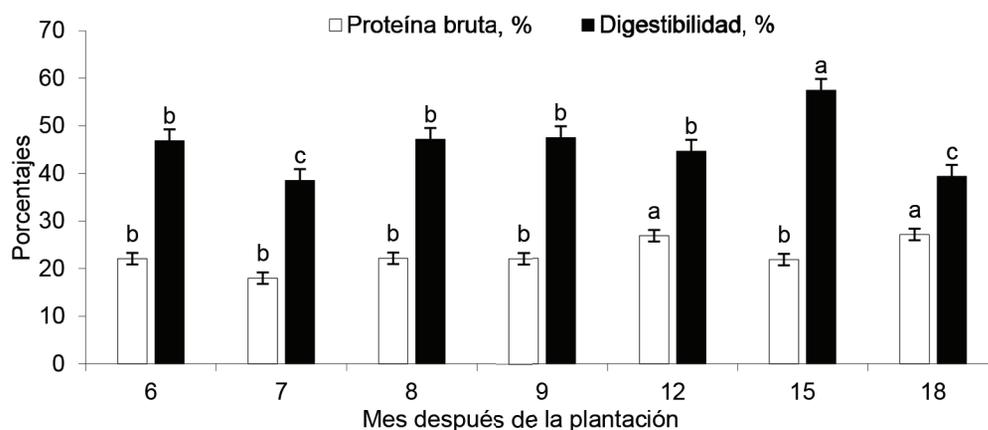
En el transcurso del experimento, se encontró que los porcentajes de proteína bruta ( $p=0,001$ ;  $CV=17,3$  %) y de digestibilidad ( $p<0,0001$ ;  $CV=5,75$  %) promedio de la BFh variaron a través de las fechas de muestreo (figura 5). A lo largo del experimento se encontró que el porcentaje de proteína bruta (% PB) promedio de las hojas fue 22,5 % y la digestibilidad promedio (% Dig), de 47,4 %.

Durante el primer ciclo del cultivo (6- 9 mdp) no se presentaron diferencias en cuanto a la PB entre las diferentes fechas de muestreo ( $p=0,001$ ;  $CV = 17,31$  %) y el valor promedio alcanzó 20,38 % (figura 5). En el segundo ciclo de crecimiento (12- 18 mdp), las concentraciones de PB fueron significativamente más altas en el mes 12 y 18 después de

la plantación ( $p=0,001$ ;  $CV=17,3$  %), al tiempo que no se establecieron diferencias estadísticas entre sí (figura 5). A los 12 mdp, el tejido joven y tierno del rebrote mostró valores de PB elevados (26,9 %), que superaron significativamente a todos los muestreos previos (figura 3), pero asociados a la menor producción de BFh y BSh del ciclo (tabla 2). Los resultados hallados en la BFh y BSh de *M. esculenta* en septiembre (12 mdp) coinciden con lo postulado por Martins *et al.* (2021) en relación a que los forrajes tropicales en estado juvenil se caracterizan por tener mejor calidad en términos de proteína bruta.

Durante el segundo ciclo de crecimiento (12- 18 mdp), el contenido de PB promedio fue de 25,35 %, lo que representó incremento de 24,0 % respecto del primer ciclo.

La digestibilidad del forraje se mantuvo relativamente estable, incluso los primeros 12 mdp ( $p\leq 0,0001$ ;  $CV=5,75$  %) con media de 45,0 % y aumentó 4,75 % durante el segundo ciclo de crecimiento (figura 5).



Letras diferentes indican que hay diferencias estadísticas entre fechas según Duncan  $p \leq 0,05$ .

Figura 5. Valores medios de contenido de proteína bruta y de digestibilidad de la biomasa fresca de hojas a través del ciclo del cultivo de *M. esculenta*.

La producción de BFh pasó de 210,8 kg ha<sup>-1</sup> (12 mdp) a 3 640,1 kg ha<sup>-1</sup> (15 mdp) en un lapso de tres meses (tabla 2), cuando las plantas crecieron a una tasa acelerada por las condiciones ambientales favorables. En términos nutricionales, los cambios asociados (figura 5) mostraron incremento significativo de la digestibilidad (57,5 %) y la caída significativa de la PB (21,9 %), que para esta última variable puede atribuirse a un efecto de dilución según lo ha planteado Howeler (2014). El incremento de la digestibilidad de las hojas a los 15 mdp se puede atribuir a un pico máximo de brotación sobre ramas adultas.

Para finalizar, a los 18 mdp el contenido de PB (27,2 %) aumentó a niveles equivalentes al de los

brotos tiernos de los 12 mdp (26,9 %), si bien la digestibilidad se redujo y alcanzó su menor expresión con solo 39,4 % (figura 5). La disminución de la digestibilidad, a medida que se incrementa la edad de la planta se asocia a la lignificación de la pared celular (Soto *et al.*, 2009) y al aumento de los carbohidratos estructurales.

Si bien entre los cultivares en estudio las concentraciones proteicas (figura 6) no difirieron ( $p = 0,0676$ ;  $CV = 17,3 \%$ ), se presentaron diferencias de digestibilidad (figura 7) entre ellos ( $p = 0,0114$ ;  $CV = 5,8 \%$ ). El promedio de digestibilidad entre los cultivares fue de 45,9 % y los valores extremos estuvieron comprendidos entre 44,0 y 48,9 % para los cultivares Yerutí y Palomita, respectivamente (figura 7).

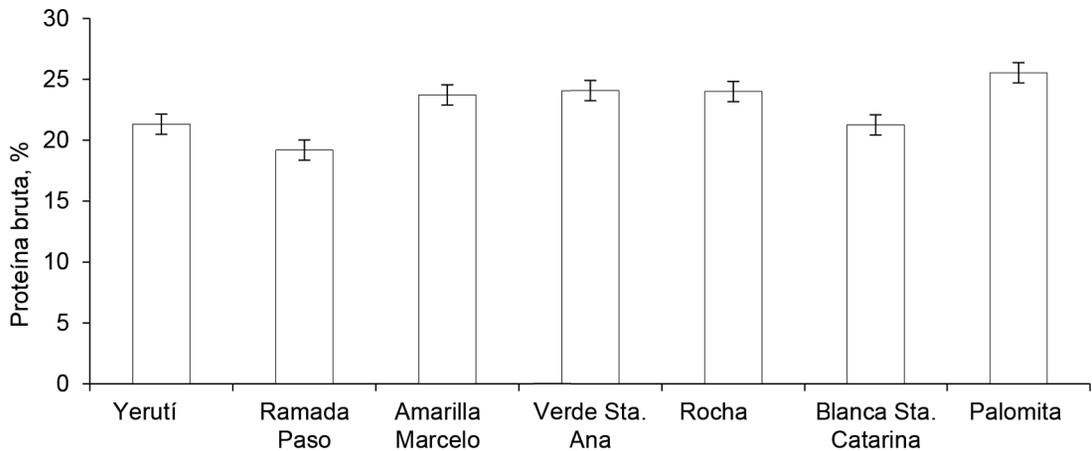
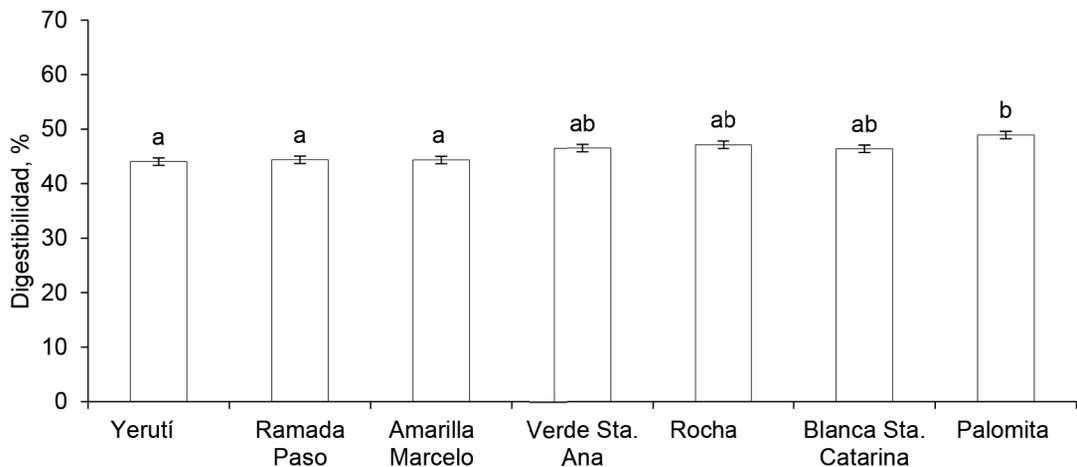


Figura 6. Contenido promedio de proteína bruta foliar de los cultivares de *M. esculenta* en estudio (%).



Letras diferentes indican que hay diferencias estadísticas entre fechas según Duncan  $p \leq 0,05$ .

Figura 7. Digestibilidad de los cultivares de *M. esculenta* en estudio.

Resultados semejantes fueron publicados por Tagliapietra *et al.* (2020) quienes no encontraron diferencias significativas en los contenidos de proteína bruta al comparar siete cultivares de *M. esculenta* de mesa y forrajeros.

En este sentido, los cultivares presentaron una media de 22,7% de PB (figura 6), igual a la media de 22,7 % citada por Sosa-Montes *et al.* (2020) y por Ramírez-Villalobos *et al.* (2023) para una leguminosa forrajera herbácea *Clitoria ternatea* L.

### Conclusión

La dinámica de la producción cuantitativa y cualitativa de la biomasa fresca (BFh) y seca (BSh) de los cultivares de mandioca responde significativamente al momento de cosecha en función del estado fisiológico del cultivo. En los meses de activo crecimiento del primer ciclo, la producción promedio de BFh alcanza 3 263 kg ha<sup>-1</sup> (750 kg ha<sup>-1</sup> de BSh); mientras que, entre los 15 y 18 mdp del segundo ciclo llega a 4 515 kg ha<sup>-1</sup> (1 038 kg ha<sup>-1</sup> de BSh). Durante la fase de reposo inducida por el invierno, entre los 9 y 12 mdp, la producción de BFh y BSh se reduce de manera significativa a una media de 480 y 110 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. En términos nutricionales, la concentración de proteína bruta de las hojas a lo largo de los 18 meses es 22,7 %, mientras la digestibilidad alcanza valores de 45,04 y 47,18 % durante el primer y segundo ciclo de crecimiento, respectivamente.

Los estudios contribuyen al entendimiento de la dinámica de producción de biomasa en *M. esculenta*, llenando un vacío en la literatura científica sobre este cultivo. Estos hallazgos pueden tener implicaciones para la mejora de prácticas agrícolas sostenibles y el desarrollo de nuevos alimentos derivados de esta planta para la producción animal.

### Agradecimientos

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), que ha subsidiado la investigación a través del Proyecto de Investigación PI 22 A 005.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

### Contribución de los autores

Angela María-Burgos. Generó la idea, buscó información bibliográfica, redactó y revisó el manuscrito.

Alcides Miguel-Michellod. Realizó los análisis de laboratorio.

Miriam Porta. Buscó información, analizó y revisó críticamente el manuscrito.

Claudina M. Hack. Buscó información, analizó y revisó el manuscrito.

### Referencias bibliográficas

- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 21st ed. Washington: AOAC *International*, 2019.
- Bayona-Buitrago, C. A.; Cepeda, María F. & León-Castrillo, Lexy C. Aprovechamiento de los subproductos agroindustriales de la cadena productiva de la yuca (*Manihot esculenta*): una revisión. *@Liment Cienc. Tecnol. Aliment.* 20 (1):92-112, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24054/limentech.v20i1.1658>.
- Burgos, Ángela; Porta, Miriam; Hack, Claudina M. & Castelan, María E. Aptitud forrajera de hojas de mandioca (*Manihot esculenta*) y su aporte nutricional a microsilos de caña de azúcar. *Revista Veterinaria.* 30 (2):73-81, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30972/vet.3024137>.
- Chaves-Barrantes, N. F. & Gutiérrez-Soto, M. V. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agron. Mesoam.* 28 (1):237-253, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>.
- Costa, Vivian C. N.; Ferreira, L. E.; Silva, Bruna K. S. da; Souza, Eliziete P. de & Malaquias, Monique F. Variedades de mandioca submetidas a diferentes alturas de poda. *Res. Soc. Dev.* 11 (7):e7411729595, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.295951>.
- Di Rienzo, J. F.; Casanoves, F.; Balzarini, Mónica; Gonzalez, Laura; Tablada, Margot & Robledo, C. W. *InfoStat versión 2020*. Argentina: Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>, 2020.
- Díaz, K. E.; Castagnino, A. M.; Rosini, M. B. & Favazzo, M. E. Harinas de hortalizas como estrategia de aprovechamiento y valorización- Parte I. *Hortic. argent.* 41 (104):126. 2022.
- Díaz-Tatis, P. A. & López-Carrascal, C. A. Yuca: pan y carne, una alternativa potencial para hacer frente al hambre oculta. *Acta Biol. Colomb.* 26 (2):235-246, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v26n2.84569>.
- FAO; FIDA; OMS; PMA & UNICEF. *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos*. Roma: FAO, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb4474es>.
- Gómez, W. R.; Cardona-Ayala, C. E. & Rivero, Sandra. Producción y calidad del forraje de tres variedades de yuca bajo tres densidades de siem-

- bra. *Temas Agrarios*. 21 (2):9-20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.897>.
- Guimarães, D. L. F.; Silva, R. N. da; Andrade, Horasa M. L. da S. & Andrade, L. P. de. Cadeia produtiva da mandioca no território brasileiro inovações e tecnologias uma revisão sistemática da literatura: uma revisão sistemática da literatura. *Diversitas Journal*. 7 (1):17-25, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2009>.
- Howeler, R. *Sustainable soil and crop management of cassava in Asia*. CIAT Publication No. 389. Cali, Colombia: CIAT. <https://core.ac.uk/download/pdf/132662687.pdf>, 2014.
- ICAA. *Registro de datos meteorológicos*. Corrientes, Argentina: Instituto correntino del Agua y del Ambiente. <https://icaa.gov.ar/hidrometeorologia-registro-de-datos-meteorologicos-2>, 2022
- Leguizamón, A. J.; Rompató, Karina M.; Hoyos, Rosa E. & Audisio, Marcela C. Nutritional evaluation of three varieties of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) grown in Formosa, Argentina. *J. Food Compos. Anal.* 101:103986, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103986>.
- Martins, E. da S.; Rosa, Eliete de F. F. da; Kaseker, Jéssica F.; Nohatto, M. A.; Arboitte, M. Z. & Bereta, S. F. Produtividade e qualidade da parte aérea da mandioca em função da época de poda e colheita. *Acta Iguazu*. 10 (1):101-112, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v10i1.26252>.
- Porta, Miriam; Burgos, Angela M.; Castelán, María E. & Hack, Claudina M. Uso forrajero del follaje de mandioca: un cambio de paradigma productivo para un cultivo tradicional del NEA. *Agrotecnia*. 29:50-54, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/agr.0294520>.
- Ramírez-Villalobos, Maribel del C.; Urdaneta-Fernández, A. S.; Suárez, Hallely; Mercado, W. & Iglesias-Gómez, J. M. Distribución de materia seca, área foliar y calidad nutricional en dos genotipos de *Clitoria ternatea* L. *Pastos y Forrajes*. 46:e01. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942023000100001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100001&lng=es&tlng=es), 2023.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. *Plan Nacional de Reducción de Pérdidas y Desperdicio de Alimentos. Ley Nacional 27.454/2018* Argentina: Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27454-315735/texto>, 2018.
- Sosa-Montes, E.; Alejos-de-la-Fuente, J. I.; Pro-Martínez, A.; González-Cerón, F.; Enríquez-Quiroz, J. F. & Torres-Cardona, María G. Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (24):211-220, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>.
- Soto, S.; Rodríguez-Sánchez, J. C. & Russo, R. Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. *Tierra Tropical*. 5 (1):83-89. [https://www.researchgate.net/publication/236626939\\_Digestibilidad\\_In\\_Vitro\\_en\\_forrajes\\_tropicales\\_a\\_diferentes\\_edades\\_de\\_rebrote](https://www.researchgate.net/publication/236626939_Digestibilidad_In_Vitro_en_forrajes_tropicales_a_diferentes_edades_de_rebrote), 2009.
- Tagliapietra, Bruna L.; Silva, Maritiele N. da; Freitas, C. P. de O. de; Richards, Neila S. P. dos S. & Zanon, A. J. Teores de proteína em silagem de mandioca elaboradas a partir de cultivares de mesa e forragem. *Revista Agroecossistemas*. 11 (2):181-194, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/rargros.v11i2.7299>.
- Tinini, R. C. R.; Zambom, M. A.; Dessbesell, J. G.; Adamante, D. & Venturini, T. Silagem da parte aérea da mandioca como um alimento alternativo na dieta de vacas em lactação. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*. 24 (1cont):e2405, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25110/arqvet.v24i1cont.2021.8026>.
- Undersander, D. J.; Howard, W. T. & Shaver, R. D. Milk per acre spreadsheet for combining yield and quality into a single term. *J. Prod. Agric.* 6 (2):231-235. 1993. DOI: <https://doi.org/10.2134/jpa1993.0231>.
- Van Soest, P. J. & Wine, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. AOAC Int.* 50 (1):50-55, 1967. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/50.1.50>.