



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Trabajo Final de Graduación Modalidad: Tesina

Título: “VARIACIONES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE RAÍCES TUBEROSAS DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* CRANTZ) EN FUNCIÓN DEL CULTIVAR, MOMENTO DE COSECHA Y LA CAMPAÑA AGRÍCOLA”

Alumno: Emanuel GONZALEZ

Asesor: Ing. Agr. (Dr.) Ricardo Daniel MEDINA

Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE

2020

Lugar de realización:

Trabajo de campo: Campo Didáctico-Experimental, Cátedra de Cultivos III, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.

Trabajo de laboratorio: Laboratorio Provincial de Calidad Agropecuaria. Dirección de Producción Vegetal del Ministerio de Producción de la Provincia de Corrientes. Ruta Nacional 12; Km 1031. Corrientes, Argentina.

AGRADECIMIENTOS:

A la primera persona que quiero agradecer es a mi asesor Ing. Agr. (Dr.) Ricardo D. Medina, quien ha sido mi guía, por tenderme la mano en el momento preciso, por brindarme fuerza, fe y esperanza, por su sensible comprensión e infinita paciencia; sin su tiempo, esfuerzo y conocimiento no lo hubiera podido lograr de este modo.

Gracias a la Ing. Agr. (Dra.) Diana M. Toledo, a la Dra. Gladis E. Arce y a la Dra. María L. Vidóz por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y permitir dar cumplimiento a una de mis importantes metas.

Gracias a mi familia, de quienes he heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo, un nieto, un hermano... amor.

A mi compañera de vida incondicional, por haber fomentado en mi el deseo de superación y anhelo de triunfo en todos los aspectos que perseguimos desde hace más de media vida juntos.

A los compañeros y amigos atesorables que he conocido en esta etapa, que juntos hemos subido cada peldaño entre desvelos de estudio y festejos de cada logro.

Al invaluable recurso humano de la cátedra de Mary Iglesias, quienes me recibieron y dieron un verdadero sentido de pertenencia; una madre y tantos hermanos, un testimonio de cariño y compromiso de valores morales y formación profesional.

DEDICADO A:

Mi mamá, amiga inseparable de toda la vida, por compartir mis penas y alegrías, mis pequeñas victorias y dolorosos fracasos, de quien siempre recibí las palabras justas de aliento que me dieron la fuerza necesaria para seguir luchando.

A mis abuelos, que siempre me han acompañado; hoy ya desde arriba; les dedico este pequeño reconocimiento a su esfuerzo y apoyo que me han brindado en el transcurso de mi vida y mis estudios.

A mi adorada esposa, por su apoyo durante mi carrera, por convivir a mi lado logros y sinsabores, por hacer suyos mis sueños y anhelos, por no haberme soltado la mano y no perder su fe en mí, por darme el mayor regalo de ser padre.

A la manifestación más fuerte y pura de felicidad y amor incondicional, mi hijo, que siempre serás mi fuente de inspiración para conquistar nuevas metas y lograr toda realización personal.

ÍNDICE:

TÍTULO	2
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO	5
MATERIALES Y MÉTODOS	5
Material Vegetal	5
Caracterización edáfica y climática	5
Condiciones de cultivo	6
Época de Plantación y Duración del Ensayo	7
Análisis químicos, Toma de datos y Diseño experimental	7
Análisis estadísticos	8
Lugar de realización	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
Contenido de Nitrógeno y Porcentaje estimado de Proteínas	12
Contenido de Fósforo	12
Contenido de Potasio	13
Contenido de Calcio	13
Contenido de Magnesio	14
Contenido de Sodio	14
Análisis estadísticos de la concentración de nutrientes en función de los factores estudiados y su interacción	14
Caracterización climática	17
CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA	20

Título: “Variaciones de la composición química de raíces tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en función del cultivar, momento de cosecha y la campaña agrícola”.

Resumen:

Los factores que influyen sobre el rendimiento cultural y la calidad de raíces tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) son principalmente la duración del ciclo (de 7 a 18 meses) y que no tiene un período definido de maduración para su cosecha; en consecuencia, es posible registrar variaciones de la composición química de la raíces tuberosas de acuerdo al momento de la cosecha. No obstante, también influyen otros factores, tales como el genotipo y las condiciones de crecimiento. En general, la bibliografía informa contenidos minerales amplios y diversos referidos a la composición de las harinas de raíces tuberosas de mandioca obtenidas en condiciones de campo, aunque son escasas las referencias que se tienen acerca de los materiales genéticos difundidos en Argentina y más aún si son cosechados en diferentes momentos y cultivados en múltiples campañas. El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de Nitrógeno (N), Proteínas, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) de raíces tuberosas de plantas de tres cultivares de mandioca, cosechadas en cuatro momentos y cultivadas en tres campañas agrícolas en Corrientes, Argentina.

Introducción:

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) es originaria de América del Sur (Ceballos, 2002), siendo el Nordeste y Centro de Brasil su centro de origen más probable (Allem, 2002). Esta planta fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente americano (Ceballos, 2002).

Esta especie vegetal ocupa el séptimo lugar como recurso alimenticio a nivel mundial (De Bernardi, 2011), y a su vez representa la cuarta fuente de calorías en la dieta de pobladores de Latinoamérica, África y Asia (Techeira *et al.*, 2014), siendo un componente básico para la alimentación de 1000 millones de personas que viven en estos tres lugares (Ceballos, 2002).

La mandioca es cultivada predominantemente por pequeños agricultores con recursos limitados en suelos marginalmente fértiles; es resistente a ambientes adversos y tolera un rango amplio de precipitaciones. Además, la mandioca es capaz de producir más energía por hectárea que otros cultivos importantes (1045 kJ de producción de energía diaria / hectárea) (El-Sharkawy, 2003).

Argentina es el más austral entre los países productores de mandioca en Latinoamérica, donde ésta constituye uno de los pilares de la dieta de pequeños y medianos productores de la región NEA (Nordeste Argentino). En nuestro país, se la cultiva desde la época anterior a la colonización europea; históricamente se extendía por las regiones que hoy constituyen las actuales Provincias de Misiones, Corrientes, Chaco, Formosa, Entre Ríos, Salta, Tucumán y Santiago del Estero (Henaín y Cenóz, 1972).

Actualmente la producción nacional se centra en la región NEA donde ha evolucionado de 140.000 toneladas en el año 1990 a 191.193 toneladas en el año 2016 (FAOSTAT, 2017; Burgos, 2018). El rendimiento promedio nacional es de 12,14 t ha-1 de raíces, cercano al promedio mundial de 12,84 t ha-1 y para el continente americano de 12,88 t ha-1 citados por Howeler (2014). De acuerdo a los datos más actuales declarados por los Ministerios Provinciales, la distribución porcentual de la producción argentina de mandioca muestra que Misiones contribuye con el 73,82% de la producción total, seguida por Corrientes (19,01%), Formosa (5,15%) y Chaco (2,01%) (Burgos, 2018).

La mandioca es un arbusto leñoso perenne de la familia Euphorbiaceae cultivado principalmente por producir raíces tuberosas amiláceas. Los tallos son particularmente importantes, pues se utilizan para la multiplicación vegetativa a través de la plantación de estacas plurinodales provenientes de las partes maduras o más leñosas. Las raíces constituyen los órganos de interés comercial por excelencia, todas las raíces que emergen a partir de las estacas son del tipo adventicio y solo algunas de ellas se convierten en raíces tuberosas. El resto del sistema radical constituyen las raíces fibrosas, que si bien son poco densas pueden llegar hasta 2,5 metros de profundidad, con lo cual logra atravesar largos períodos de sequía. La mayoría de estas raíces fibrosas permanecen delgadas y su principal función continua siendo la de absorber agua y nutrientes. Es importante destacar que una raíz tuberosa no puede ser empleada como órgano de propagación porque no genera yemas de renuevo, característica que la torna muy perecedera una vez cosechada (Ceballos y de la Cruz, 2002).

La mandioca es una especie que desde el punto de vista de su aprovechamiento es considerada multipropósito, debido a que tanto las raíces como la parte aérea de la planta admiten muy diversos usos. Se la cultiva sobre todo por sus raíces ricas en hidratos de carbono, aunque en algunas partes del mundo, como África y Brasil, también se utilizan las hojas para la alimentación humana, como verdura fresca o deshidratada, además de ser un recurso importante en la alimentación del ganado doméstico (Lancaster y Brooks, 1983; Cock, 1985; Sampaio *et al.*, 1994; Uset, 2008).

Según Uset (2008), las hojas y raíces tuberosas pueden ser empleadas para la alimentación animal, ya sean frescas, deshidratadas y/o ensiladas. Además de estos productos primarios, existen otros derivados que son utilizados como alimento para animales, principalmente los subproductos de la industria. Estos subproductos provenientes de las raíces tuberosas son esencialmente energéticos, debido a su alto contenido en almidón. El follaje, por el contrario, es rico en proteínas. Las raíces de mandioca son una importante fuente de energía en la preparación de raciones alimenticias para diferentes especies de animales. Normalmente, las raíces recién cosechadas son productos altamente perecederos, con alto nivel de humedad (62 a 68%), cifras que se mantienen más o menos constantes. El contenido de proteína en la raíz es en general bajo y se convierte en una limitante cuando ésta se usa en alimentación animal. También y al igual que la parte aérea, el contenido en aminoácidos esenciales, metionina y cistina es bajo, siendo necesario incluir otros ingredientes con altos contenidos de estos aminoácidos cuando se emplean cantidades apreciables de raíces en la alimentación de animales monogástricos. En relación a la función nutricional de los almidones es muy importante porque constituye una de las principales fuentes de calorías de la alimentación humana. En el NEA, la fécula de mandioca es utilizada en forma directa para la elaboración de alimentos, fundamentalmente chipa, chipá o chipacito, preparación horneada a base de la fécula y queso. Asimismo, tienen un papel importante en la tecnología alimenticia debido a sus propiedades físico-químicas y funcionales. Se utilizan como agentes espesantes, estabilizantes de geles, o emulsionantes, así como elementos ligantes o de relleno.

La composición de la mandioca depende del órgano analizado (raíces u hojas) y también de otros factores, como la ubicación geográfica, la variedad, la edad de la planta y las condiciones ambientales. Las partes nutricionalmente valiosas de la mandioca son las raíces y las hojas, constituyendo el 50% y el 6% del peso de la planta madura, respectivamente (Tewe y Lataladio, 2004). Al ser las raíces, la parte de la planta de mayor biomasa, mayor valor económico y hasta el momento la de mayor consumo en los países en desarrollo, sería necesario investigar su composición nutricional en función de la influencia de diferentes factores intrínsecos y extrínsecos.

La raíz de mandioca es un alimento rico en energía. En este sentido, la mandioca muestra una producción de carbohidratos muy eficiente por hectárea. Produce alrededor de 250000 calorías / hectárea / día, lo que la ubica antes que el maíz, el arroz, el sorgo y el trigo (Okigbo, 1980). Su contenido de proteína es bajo del 0,5% al 2% en base a materia seca (Wheatley *et al.*, 1997). Aproximadamente el 50% de la proteína bruta en las raíces está compuesta de proteínas enteras y el otro 50% son aminoácidos libres (predominantemente ácidos glutámico y aspártico) y no proteínas, como nitrito, nitrato y compuestos cianogénicos. Sin embargo, las raíces contienen abundante cantidad de arginina, ácido glutámico y ácido aspártico (Gil y Buitrago, 2002).

Las raíces de mandioca tienen un gran exceso de arginina, mientras que el contenido de arginina de las hojas es relativamente bajo y comparable al de los huevos. Tanto las hojas como las raíces tienen un exceso de lisina, que es aproximadamente el doble de lo que se ha observado en los huevos (Jacquot, 1957) sobre la base de 16 g de nitrógeno.

El contenido de vitamina C (ácido ascórbico) de las raíces de mandioca es alto y entre 15 y 45 mg / 100 g de porciones comestibles (Okigbo, 1980, Charles *et al.*, 2004), sin embargo, contienen bajas cantidades de las vitaminas B, es decir, tiamina, riboflavina y niacina, y parte de estos nutrientes se pierden durante el procesamiento.

En cuanto a la composición mineral de las harinas derivadas de raíces tuberosas obtenidas en condiciones de campo, en general la bibliografía informa contenidos amplios y diversos. Por lo general, los contenidos de minerales y vitaminas son más

bajos en las raíces de la mandioca que en los granos de sorgo y maíz (Gil y Buitrago, 2002). Sin embargo, las raíces de mandioca tienen contenidos de calcio, hierro, potasio, magnesio, cobre, zinc y manganeso comparables a los de muchas leguminosas, con la excepción de la soja; su contenido de calcio es relativamente alto en comparación con el de otros cultivos básicos. En condiciones de invernadero diferentes materiales genéticos de mandioca cosechados en diferentes momentos del ciclo productivo (de diciembre a abril) no registraron diferencias significativas en relación al contenido mineral de raíces tuberosas (N, P, K, Ca, Mg y Na) (Medina *et al.*, 2017).

Como la composición química de las raíces tuberosas es afectada por una multitud de factores sería interesante e importante analizar como varía bajo la influencia del cultivar, los momentos de cosecha y las condiciones medioambientales. Esto permitiría establecer las propiedades nutricionales que pueden ofrecer diferentes materiales cultivados a campo en un suelo arenoso típico del Noroeste de Corrientes (Argentina), evaluados a distintos momentos del ciclo y en interacción con las condiciones del ambiente registradas en diferentes campañas agrícolas.

Objetivo:

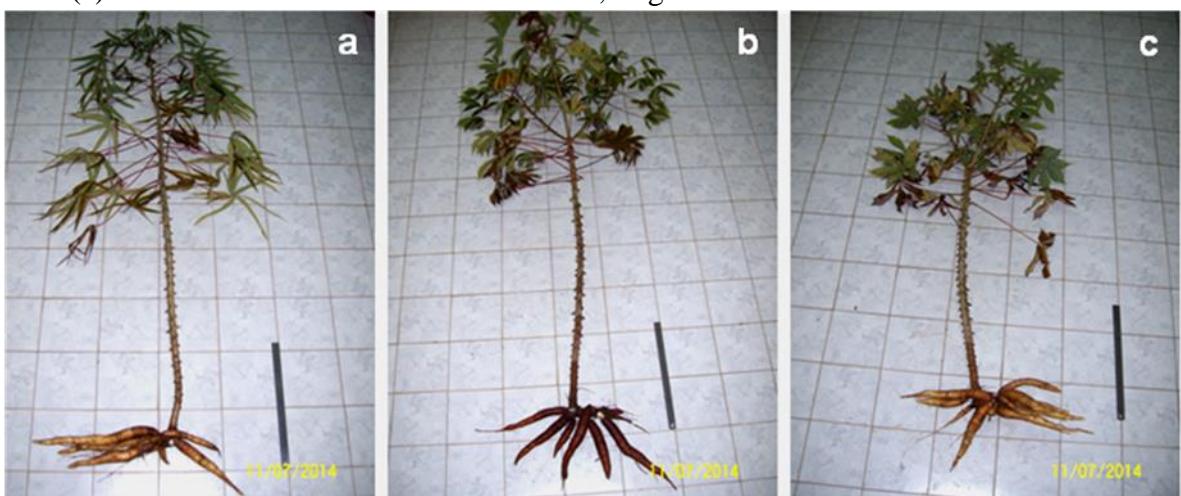
El objetivo de este trabajo fue analizar las variaciones de la composición química de harinas de raíces tuberosas de plantas de 3 cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cvs. Palomita, Amarilla y Ramada Paso, cosechados en cuatro momentos y evaluados durante tres campañas en Corrientes, Argentina (27°28'27"S, 58°47'00"O, 70 msnm).

Materiales y Métodos:

Material Vegetal:

El material que se evaluó fueron harinas derivadas de porciones de raíces tuberosas de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de los cultivares Palomita, Amarilla y Ramada Paso de diferentes momentos de cosecha durante 1 año de implantación, en las campañas 2012-2013; 2013-2014 y 2014-2015. En la Figura 1 se puede observar el aspecto de las plantas de mandioca de los 3 cultivares evaluados a los 9 meses de la plantación.

Figura 1: Plantas de mandioca de los cultivares Palomita (a), Amarilla (b) y Ramada Paso (c) a los 9 meses de cultivo en Corrientes, Argentina. Fotos: Dr. Ricardo Medina.



Caracterización edáfica y climática:

La Provincia de Corrientes, se encuentra al Nordeste de la República Argentina. El Departamento Capital, se ubica sobre los 27° 25' de latitud sur y 58° 40' de longitud

oeste, en el vértice Noroeste de la Provincia de Corrientes. Biogeográficamente se encuentra dentro de la Provincia Biogeográfica Chaqueña.

El ensayo de donde se obtuvieron las muestras, se llevó a cabo en el Campo Didáctico-Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), ubicado al Noroeste de Corrientes, Argentina ($27^{\circ}28'27"S$, $58^{\circ}47'00"0$, 70 msnm), durante las campañas 2012-2013; 2013-2014 y 2014-2015.

El suelo del sitio de experimentación ha sido clasificado como Udipsamment árgico, familia mixta, hipertérmica perteneciente a la Serie Ensenada Grande. Estos suelos se encuentran dentro de los albardones, depresiones y planos de la terraza entre el Arroyo Riachuelo y el Arroyo Sombrero (Escobar *et al.*, 1994). Presentan una granulometría gruesa en superficie, de colores pardo a pardo rojizo en los horizontes subyacentes. El suelo nuevo, es profundo (> 100 cm), masivo, muy friable y medianamente a débilmente ácido, en el horizonte A (Soil Survey Staff, 1975; 1990). La presencia de lamelas texturales desde los 40 cm, presupone la formación de un horizonte B, aún no textural. Son suelos de excelentes condiciones físicas, pero de baja fertilidad natural.

El clima de la región es caracterizado como subtropical, correspondiente a los "bosques siempreverdes" de tipo mediterráneo (Bruniard, 2000). En general, el clima se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1300 mm anuales, evapotranspiración media anual según Thornthwaite de 1100 mm y una temperatura media anual de $21,6^{\circ}$ C; con un período libre de heladas de 340 a 360 días. De acuerdo a los datos meteorológicos mencionados y tomando la clasificación climática de Köppen, la región se clasifica como Cf w'a (h) que expresa un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca con precipitaciones máximas en otoño y veranos muy cálidos con temperaturas superiores a los 22° C y media superior a los 18° C (Murphy, 2008).

i) *Régimen térmico*: la temperatura media anual varía alrededor de $21,5^{\circ}$ C, la temperatura media del mes más frío (Julio) entre 16° C y 13° C y la media del mes más cálido (Enero) entre 27° y 26° C, la escasa variación anual define al clima correntino como subtropical o mesotermal. En verano se registran máximas absolutas de 42,5 a $46,5^{\circ}$ C, según zonas, y en invierno mínimas absolutas de -1° a $-5,5^{\circ}$ C. Sin embargo, las heladas son poco frecuentes (320 a 360 días libres de heladas), con frecuencias medias anuales de 0,4 (junio-julio) en el Norte de Corrientes, no registrándose ninguna entre octubre y abril.

ii) *Régimen pluviométrico*: las lluvias abundantes y frecuentes, superan 1.500 mm anuales en el NE descendiendo gradualmente hasta menos de 1.000 mm. La principal característica de este régimen es la irregularidad estacional en la distribución de lluvias, siendo el otoño la época más lluviosa y el invierno la más seca, con un máximo secundario en primavera y un mínimo secundario en verano. Por la precipitación registrada no se puede hablar de estaciones secas ni de sequías de importancia (Carnevali, 1994).

Condiciones de cultivo:

Las ramas estaqueras utilizadas fueron extraídas de plantas madres de 8 meses de edad, previamente cultivadas bajo un mismo sistema de manejo, seleccionándose tallos con diámetros de 2,5 a 3,5 cm a fin de controlar fuentes de variación de origen no genético. (Velásquez, 2006). Dichas ramas fueron seleccionadas tanto por su condición sanitaria como por sus cualidades intrínsecas (edad, relación entre el diámetro medular y total, longitud y número de nudos). Las ramas fueron cortadas en los meses de mayo (2012, 2013 y 2014) y fueron almacenadas en posición vertical bajo la copa de árboles perennifolios durante aproximadamente los cuatro (4) meses invernales. Esta práctica,

ampliamente difundida por los productores correntinos, se implementó a los fines de proteger las yemas caulinares de las heladas. Dos días antes de la fecha prevista de plantación, las estacas fueron seleccionadas por su estado de hidratación (laceración del tallo a nivel de corteza y observación de la fluencia de látex) y por la presencia de raíces emitidas en la tierra durante el almacenamiento. También se controló el estado sanitario de las mismas, por observación directa de presencia de síntomas de enfermedades y signos de patógenos y de daños causados por plagas.

El día anterior a la plantación las ramas fueron trozadas en estacas de 12-15 cm con 5-7 yemas. Las estacas fueron obtenidas de la parte basal y media de las ramas estaqueras, descartándose la parte apical por no tener suficientes reservas acumuladas (Velásquez, 2006). Antes de plantarlas se las trató preventivamente con fungicidas e insecticidas aplicados por inmersión a fin de prevenir posibles daños por patógenos y plagas insectiles. A tal fin las estacas de cada cultivar se trajeron separadamente y fueron colocadas en tres recipientes con 40 litros de agua (hasta que se cubrieron las estacas) con la última regadera de 10 litros se le incorporó 15 cm³ de Dimetoato por cada 10 litros de agua (60cm³ totales) + Mancozeb 80% 20 g por cada 10 litros de agua (80 g totales) + Oxicloruro de cobre micronizado 40 g por cada 10 litros de agua (160 g totales). Las estacas se dejaron sumergidas en el caldo durante aproximadamente una hora. Luego se dejaron secar al aire e inmediatamente se trajeron manualmente a 1 m entre hileras y entre plantas (10.000 estacas.ha⁻¹) en posición horizontal, en los surcos abiertos en el suelo, a una profundidad de 10 cm.

Época de Plantación y Duración del Ensayo:

En las tres campañas (2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015), las estacas se trajeron en el mes de Octubre de 2012, 2013 y 2014; época normal de plantación para las condiciones subtropicales donde se han llevado a cabo los ensayos. Se decidió evaluar la composición química de las raíces tuberosas de 3 cultivares de mandioca ampliamente difundidos en Corrientes, cosechando cada 3 meses en ciclos de 12 meses de duración total, en 3 campañas agrícolas diferentes. Las parcelas fueron conducidas libres de competencia de malezas, sin fertilizar y sin regar.

Análisis químicos, Toma de datos y Diseño experimental:

Los factores principales estudiados fueron el Cultivar, el Momento de cosecha y las Campañas agrícolas. El diseño del experimento fue de arreglo factorial: Cultivar (3 niveles: Amarilla, Palomita y Ramada Paso) x Momento de cosecha (4 niveles: 3, 6, 9 y 12 meses) x Campaña agrícola (3 niveles: 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015). Se trajeron 3 individuos al azar por cada genotipo cada momento de cosecha y en cada campaña agrícola; se cosecharon las raíces tuberosas de cada individuo muestreado y se hicieron un pool de porciones distales, medias y proximales de raíces con peridermis que se pesaron en fresco, se secaron a 70°C hasta peso constante y se volvieron a pesar para determinar el porcentaje de materia seca. Finalmente se obtuvieron 3 muestras de material seco en sobres por cada genotipo cada momento del muestreo y cada campaña agrícola, las cuales fueron sometidas a diferentes análisis químicos previa trituración mediante una licuadora hasta obtener una fécula fina y homogénea y tamización con malla de 1 mm.

La evaluación comprendió la cuantificación de las siguientes variables: Porcentaje de Nitrógeno y Porcentaje estimado de proteínas; Porcentaje de Fósforo; Porcentaje de Potasio; Porcentaje de Calcio; Porcentaje de Magnesio y Porcentaje de Sodio.

Los contenidos de P, K, Ca, Mg y Na se analizaron siguiendo los protocolos descriptos en A.O.A.C. (2012) y fueron referidos en % en base seca.

El contenido de N se determinó por micro Kjeldahl y para calcular el contenido de proteínas se usó el factor de conversión 3,24 citado para raíces tuberosas de mandioca (El-Sharkawy, 2012).

Los datos meteorológicos evaluados fueron temperatura, humedad relativa ambiente y precipitación. Los mismos se obtuvieron de lo registrado por una Estación meteorológica Pegasus instalada en el Campo Didáctico-Experimental de la FCA-UNNE y otra instalada en el Centro Tecnológico de Producción perteneciente a la Red de Estaciones Meteorológicas del Ministerio de Producción de Corrientes, cuya zona de influencia alcanza a los lotes del presente ensayo. Además, se empleó variables de apoyo de datos de la estación meteorológica de EEA INTA Corrientes.

Análisis estadísticos:

Los datos analizados constituyeron las variables químicas cuantificadas en las raíces tuberosas de 3 cultivares de mandioca cosechados a diferentes momentos (cada 3 meses en campañas de 12 meses) y en 3 campañas agrícolas y variables ambientales obtenidas de Estaciones meteorológicas instaladas en las proximidades del cultivo.

Para el análisis de los resultados se aplicaron herramientas de estadística descriptiva o inferencial. En este caso, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, utilizando el programa estadístico InfoStat/P versión 1.1 (InfoStat, 2002). Cuando se encontraron diferencias significativas con el análisis de varianza, se procedió a comparar las medias aritméticas de las variables evaluadas mediante el Test de Comparaciones Múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$).

Lugar de realización:

Trabajo de campo: Campo Didáctico-Experimental, Cátedra de Cultivos III, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina. Ruta Nacional 12; Km 1031, Corrientes, Argentina.

Trabajo de laboratorio: Laboratorio Provincial de Calidad Agropecuaria del Centro Tecnológico de Producción. Dirección de Producción Vegetal del Ministerio de Producción de la Provincia de Corrientes. Ruta Nacional 12. Corrientes, Argentina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

El conocimiento de los valores nutricionales de las harinas de raíces tuberosas de mandioca es de suma importancia debido a que éstas constituyen una fuente energética muy importante en la dieta de personas que habitan en países subdesarrollados. (Montagnac, *et al.* 2009).

Los resultados analizados en laboratorio, se encuentran en las Tablas 1, 2 y 3, los mismos provienen de harinas de raíces de mandioca de tres cultivares de mandioca difundidos en la cuenca mandioquera de Corrientes, cosechados a diferentes momentos (cada 3 meses en campañas de 12 meses) y en 3 campañas agrícolas diferentes y consecutivas.

Tabla 1. Resultados analíticos de la composición mineral de 39 muestras de raíces tuberosas de tres cultivares de mandioca durante el periodo de 12 meses de la primera campaña evaluada (2012-2013). Los valores expresados en porcentaje son en base seca.

MDP	RAIZ TUBEROSA	INDEX	N %	Prot %	P %	K ⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Na ⁺ %
3M	P1	1	0,932	3,02	1,751	1,542	1,139	0,377	0,049
	P2	2	1,047	3,39	1,744	0,820	0,944	0,102	0,038
	P3	3	0,750	2,43	2,055	1,553	1,048	0,234	0,059
	P6	4	0,903	2,93	1,668	1,317	0,600	0,298	0,042
	A7	5	0,823	2,67	1,165	1,611	0,920	0,412	0,045
	A8	6	0,646	2,09	1,144	1,476	0,427	0,102	0,038
	A9	7	0,528	1,71	1,422	1,596	0,451	0,269	0,047
	A12	8	0,769	2,49	1,013	2,080	0,486	0,232	0,039
	RP13	9	0,660	2,14	0,901	1,982	0,359	0,321	0,033
	RP14	10	0,556	1,80	0,947	2,697	0,496	0,074	0,061
	RP15	11	0,585	1,90	1,095	2,151	0,467	0,209	0,042
	RP18	12	0,633	2,05	1,101	2,440	0,628	0,075	0,044
6M	P19	13	0,631	2,04	1,050	0,598	0,351	0,279	0,018
	P21	14	0,546	1,77	0,883	0,741	0,518	0,309	0,025
	P23	15	0,518	1,68	0,724	0,558	0,382	0,152	0,034
	A25	16	0,492	1,59	0,571	0,763	0,512	0,229	0,018
	A27	17	0,556	1,80	0,793	0,802	0,806	0,320	0,033
	A30	18	0,468	1,52	0,697	1,232	0,471	0,140	0,019
	RP33	19	0,649	2,10	0,807	1,415	0,500	0,224	0,021
	RP36	20	0,429	1,39	0,743	1,189	0,488	0,291	0,021
	RP39	21	0,361	1,17	1,003	1,170	0,506	0,226	0,027
	P40	22	0,531	1,72	0,520	0,553	0,816	0,347	0,017
9M	P42	23	0,681	2,21	0,733	0,659	0,516	0,154	0,017
	P44	24	0,604	1,96	0,462	0,688	0,514	0,230	0,017
	A46	25	0,664	2,15	0,771	1,061	0,396	0,394	0,019
	A49	26	0,481	1,56	0,792	1,343	0,535	0,255	0,017
	A51	27	0,615	1,99	0,555	0,966	0,361	0,287	0,016
	RP53	28	0,569	1,84	1,328	1,412	0,791	0,314	0,019
	RP55	29	0,615	1,99	1,081	1,056	1,085	0,242	0,019
	RP57	30	0,613	1,99	1,273	1,242	0,537	0,400	0,028
	P59	31	0,337	1,09	0,360	0,205	0,316	0,376	0,011
	P60	32	0,367	1,19	0,436	0,357	0,509	0,380	0,007
12M	P62	33	0,356	1,15	0,526	0,394	0,314	0,436	0,006
	A64	34	0,196	0,64	0,371	0,325	0,381	0,397	0,006
	A66	35	0,315	1,02	0,350	0,391	0,332	0,462	0,007
	A68	36	0,188	0,61	0,390	0,389	0,345	0,463	0,007
	RP70	37	0,590	1,91	0,389	0,401	0,658	0,471	0,010
	RP73	38	0,595	1,93	0,596	0,528	0,457	0,340	0,009
	RP76	39	0,542	1,76	0,505	0,344	0,538	0,321	0,009

Referencias: MDP (meses después de plantación), Index (código del laboratorio), Prot % (porcentaje estimado de proteínas), P (cv. Palomita), A (cv. Amarilla), RP (cv. Ramada Paso).

Tabla 2. Resultados analíticos de la composición mineral de 36 muestras de raíces tuberosas de tres cultivares de mandioca durante el periodo de 12 meses de la segunda campaña evaluada (2013-2014). Los valores expresados en porcentaje son en base seca.

MDP	RAIZ TUBEROSA	INDEX	N %	Prot %	P %	K ⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Na ⁺ %
3M	P79	40	1,377	4,46	1,439	1,191	1,116	0,296	0,028
	P82	41	1,013	3,28	1,385	1,033	1,102	0,292	0,027
	P85	42	0,891	2,89	0,895	0,622	0,958	0,254	0,023
	A87	43	---	---	1,845	1,790	1,452	0,288	0,039
	A89	44	---	---	2,557	1,670	1,569	0,374	0,048
	A91	45	1,880	6,09	1,484	2,317	1,746	0,347	0,084
	RP94	46	1,778	5,76	1,037	1,639	2,070	0,370	0,046
	RP97	47	---	---	1,447	2,151	2,857	0,681	0,064
	RP100	48	---	---	1,111	1,523	3,611	0,538	0,064
6M	P103	49	0,331	1,07	0,397	0,571	0,935	0,279	0,025
	P105	50	0,306	0,99	0,186	0,468	0,485	0,072	0,021
	P108	51	0,371	1,20	0,505	0,730	0,937	0,323	0,032
	A110	52	0,346	1,12	0,667	0,639	0,646	0,178	0,027
	A113	53	0,387	1,25	0,523	0,477	0,556	0,055	0,024
	A116	54	0,460	1,49	0,622	0,500	0,613	0,112	0,025
	RP119	55	0,410	1,33	0,070	1,172	0,514	0,084	0,025
	RP122	56	0,314	1,02	0,648	0,499	0,685	0,163	0,032
	RP125	57	0,386	1,25	0,381	0,489	0,736	0,165	0,023
9M	P128	58	0,544	1,76	0,231	1,050	2,119	0,562	0,019
	P130	59	0,432	1,40	0,263	1,015	2,641	0,716	0,018
	P132	60	0,550	1,78	0,189	0,988	2,123	0,422	0,017
	A135	61	0,690	2,24	0,077	1,087	1,632	0,486	0,020
	A137	62	0,648	2,10	0,301	1,244	2,176	0,649	0,020
	A139	63	0,594	1,92	0,288	1,091	2,866	0,777	0,019
	RP142	64	0,553	1,79	0,441	1,039	1,753	0,448	0,019
	RP144	65	0,679	2,20	0,526	0,933	2,377	0,630	0,020
	RP147	66	0,606	1,96	0,111	0,999	1,909	0,569	0,018
12M	P149	67	1,524	4,94	1,109	1,344	1,341	0,307	0,035
	P152	68	1,496	4,85	1,136	1,504	0,935	0,264	0,037
	P155	69	1,901	6,16	1,200	1,748	1,037	0,216	0,039
	A157	70	0,840	2,72	1,545	2,223	1,146	0,331	0,030
	A160	71	1,188	3,85	1,799	1,833	1,118	0,426	0,038
	A163	72	1,598	5,18	1,277	2,041	1,429	0,473	0,039
	RP166	73	0,936	3,03	1,399	1,476	1,177	0,275	0,038
	RP169	74	1,301	4,22	1,235	1,200	1,353	0,389	0,031
	RP172	75	1,397	4,53	1,773	1,654	1,075	0,244	0,035

Referencias: MDP (meses después de plantación), Index (código del laboratorio), Prot % (porcentaje estimado de proteínas), P (cv. Palomita), A (cv. Amarilla), RP (cv. Ramada Paso).

Tabla 3. Resultados analíticos de la composición mineral de 36 muestras de raíces tuberosas de tres cultivares de mandioca durante el periodo de 12 meses de la tercera campaña evaluada (2014-2015). Los valores expresados en porcentaje son en base seca.

MDP	RAIZ TUBEROSA	INDEX	N %	Prot %	P %	K ⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Na ⁺ %
3M	P175	76	1,323	4,287	1,566	1,132	0,776	0,925	0,033
	P178	77	1,293	4,189	1,991	1,117	1,037	0,309	0,030
	P181	78	1,431	4,636	1,786	1,373	1,073	0,611	0,032
	A184	79	1,216	3,940	2,134	1,443	1,011	0,381	0,027
	A187	80	1,295	4,196	1,893	1,442	0,714	0,638	0,023
	A190	81	1,591	5,155	2,230	1,279	0,946	0,564	0,028
	RP193	82	1,559	5,051	3,279	3,169	1,249	0,453	0,036
	RP196	83	---	---	2,123	2,038	1,264	0,723	0,034
	RP199	84	2,325	7,533	2,506	1,844	1,545	0,368	0,041
6M	P202	85	0,609	1,973	0,910	1,158	0,620	0,431	0,025
	P204	86	0,619	2,006	0,813	1,270	0,796	0,506	0,026
	P206	87	0,570	1,847	0,708	0,784	0,635	0,505	0,069
	A209	88	0,688	2,229	0,529	1,046	0,580	0,518	0,049
	A211	89	0,552	1,788	0,696	0,907	0,647	0,386	0,091
	A2014	90	0,448	1,452	0,723	1,184	0,828	0,406	0,020
	RP217	91	0,648	2,100	0,742	1,467	0,518	0,281	0,026
	RP220	92	0,459	1,487	0,795	1,981	0,639	0,476	0,076
	RP222	93	0,528	1,711	0,965	1,720	0,805	0,270	0,040
9M	P224	94	0,763	2,472	0,284	0,958	0,618	0,429	0,025
	P227	95	0,438	1,419	0,396	0,933	0,625	0,319	0,020
	P229	96	0,615	1,993	0,279	0,930	0,600	0,447	0,023
	A231	97	0,586	1,899	0,211	1,141	0,815	0,304	0,018
	A233	98	0,647	2,096	0,446	1,200	0,587	0,404	0,019
	A236	99	0,611	1,980	0,510	1,177	0,610	0,272	0,025
	RP239	100	0,684	2,216	0,365	1,084	0,629	0,351	0,011
	RP242	101	0,815	2,641	0,872	1,293	0,637	0,467	0,014
	RP244	102	0,765	2,479	0,718	0,925	0,475	0,542	0,010
12M	P246	103	0,674	2,184	0,876	0,808	0,729	0,217	0,009
	P248	104	0,837	2,712	0,724	0,717	0,708	0,475	0,009
	P251	105	0,755	2,446	0,642	0,668	0,437	0,308	0,008
	A254	106	0,573	1,857	1,052	1,311	0,745	0,139	0,012
	A257	107	0,871	2,822	0,889	1,197	0,771	0,243	0,013
	A260	108	0,912	2,955	0,904	1,045	0,796	0,386	0,013
	RP262	109	0,808	2,618	0,947	1,073	0,767	0,366	0,011
	RP265	110	0,886	2,871	0,929	1,337	0,617	0,226	0,011
	RP267	111	0,884	2,864	0,918	1,686	0,555	0,207	0,009

Referencias: MDP (meses después de plantación), Index (código del laboratorio), Prot % (porcentaje estimado de proteínas), P (cv. Palomita), A (cv. Amarilla), RP (cv. Ramada Paso).

Contenido de Nitrógeno y Porcentaje estimado de proteínas.

El contenido de N en harinas de raíces de tuberosas de mandioca variaron de 0,306 a 2,325%, asimismo el porcentaje estimado de proteínas fue de 0,99 a 7,533%. En la Figura 2 a-f, es posible observar el comportamiento temporal de todos los elementos minerales analizados en función del cultivar y de la campaña agrícola evaluada.

En general, el contenido de N, como el de los demás nutrientes minerales, predominó en su concentración a los 3 meses después de la plantación (Tablas 1, 2 y 3). Como el método Kjeldahl determina el nitrógeno orgánico y el amonio de la muestra, empleando un factor de conversión es posible convertir este valor a equivalentes de proteínas, siendo el valor de 3,24, el factor sugerido y adecuado para raíces tuberosas de mandioca (El-Sharkawy, 2012). Entonces en relación a esto, el contenido de proteínas presente en las raíces de 3 meses fue el más alto con excepción de la segunda campaña sujeta a evaluación (2013-2014) (Figura 2).

De acuerdo a Cabral *et al.* (2000), existe una estrecha relación entre la evolución ontogénica de las raíces tuberosas, el aumento del diámetro y la reducción del contenido proteico. Gil y Buitrago (2002) determinaron que altos niveles de proteína se asocian a cosechas muy tempranas, comportamiento que se observa similarmente en este experimento. Del mismo modo, Techeira *et al.* (2014) registraron porcentajes de proteína en harinas de raíces mandioca del orden del 1,86 %, comportamiento evidenciado en 3 de los 4 momentos de cosecha de los cultivares, y de la totalidad de las tomas de datos, superando al 0,96% de proteínas registrado por Offor *et al.* (2012) con valores mínimos de 1,62% a los 6 meses después de la plantación.

Por otra parte, los valores registrados de proteínas en esta tesina fueron muy similares y cotejables a los cuantificados por Medina *et al.* (2017) en materiales cultivados bajo invernadero en la misma región subtropical, demostrando una tendencia parecida a la registrada para el porcentaje de nitrógeno en las campañas 2012-2013 y 2014-2015 (Figura 2).

La concentración de nitrógeno hallada fue muy superior a la reportada en harinas de raíces de dos variedades de mandioca (CIAT, 1980). Sin embargo, lo evidenciado en esta tesina se asemeja a lo informado por Buitrago (1990) donde el contenido proteico oscila entre el 1 y el 3%. Ceballos *et al.* (2006), estudiando más de 140 clones durante 10 años hallaron variaciones extremas que van desde 0,95 a 6,42%, lo que denota la gran diversidad genética de la especie y la posibilidad de mejoramiento de los niveles proteicos mediante hibridaciones de la mandioca con parientes salvajes que cohabiten la misma región. Los valores obtenidos en esta tesina en la campaña 2013-2014 (Tabla 2) se encuentran relacionados a los valores máximos dados por Ceballos *et al.* (2006) por lo que se vincularía con una interacción con las condiciones ambientales de esa campaña y la posibilidad de haber experimentado la emergencias de raíces nuevas al final del ciclo, el aumento del contenido de N y por ende del porcentaje de proteínas en las muestras.

En los tres cultivares se registra un promedio de 2,11% de proteína a los 9 meses después de la plantación, muy similar a lo registrado en raíces de la variedad Tempranita en una cosecha de 8 meses en el altiplano de Maracaibo, Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2009).

Contenido de Fósforo.

Los valores extremos del contenido de fósforo en raíces de mandioca fueron de 0,070 a 3,279% (Tablas 1, 2 y 3).

Medina *et al.* (2017) observaron un comportamiento similar en las concentraciones de fósforo en raíces tuberosas de dos cultivares de mandioca plantados en la misma región ecogeográfica. A su vez, Rodríguez *et al.* (2009) informaron valores muy parecidos de fósforo en raíces de mandioca del cultivar Tempranita al momento de la cosecha en Maracaibo (Venezuela). Parry *et al.* (2005) registraron porcentajes de fósforo en raíces muy similares a lo registrado en la cosecha de 9 meses después de la plantación.

Por otra parte, Tewe y Lataladio (2004) mencionaron que las raíces y las hojas de mandioca no sólo representan un porcentaje muy diferente de la biomasa seca total de la planta (50% y 6% de la materia seca de la planta, respectivamente) si no que poseen una composición nutricional diferenciada unas respecto de otras. Como lo citaron Gil y Buitrago (2002), la cantidad de fósforo en raíces es 2 a 3 veces mayor que en las hojas, así como en estas últimas es mayor la cantidad de calcio respecto a lo hallado en raíces. En esta tesina, se obtuvieron valores de fósforo de hasta 3 veces superiores a los citados en hojas a los 9 meses después de la plantación y hasta más de 10 veces al valor máximo registrado en los primeros 3 primeros meses después de la plantación (Burns *et al.*, 2012). Comparando con la compilación bibliográfica citada por Montagnac *et al.* (2009) se obtuvieron en las harinas, valores de hasta 5 veces superiores en fósforo, en raíces tuberosas a los 9 meses después de la plantación.

Contenido de Potasio.

En las Tablas 1, 2 y 3 pueden observarse los porcentajes de potasio cuantificados en raíces tuberosas de mandioca. Los valores de potasio fueron de 0,205 a 3,169% (Tablas 1, 2 y 3).

Montagnac *et al.* (2009) informaron concentraciones de potasio en raíces de mandioca similares a los hallados en esta tesina para raíces de 9 meses de cosecha.

Por otra parte, en lo que respecta a lo encontrado en la base de datos de USDA (2007), valores muy próximos se han visto con los de esta experiencia en el primer semestre muestreado. Medina *et al.* (2017) citaron valores próximos a los informados en esta tesina, en un ensayo llevado a cabo en invernadero en la misma región ecogeográfica.

Por su parte, Rodríguez *et al.* (2009) determinaron valores parecidos en el cultivar de mandioca Tempranita en un ensayo conducido en Maracaibo, Venezuela.

Concentraciones ligeramente inferiores se hallaron en esta experiencia a los citados por CIAT (1980), pero levemente superiores a los registrados por Howeler (2002).

Contenido de Calcio.

El porcentaje de calcio presente en las harinas de raíces tuberosas de mandioca evaluadas fue de 0,314 a 2,866% (Tablas 1, 2 y 3).

Los valores determinados en este ensayo superan de 3 a 5 veces los informados por Montagnac *et al.*, (2009) para muestras de raíces en base seca (0.18%). Similares resultados a los recientemente citados, han sido registrados en estudios de Barrios y Bressani (1967) y Gómez y Valdivieso (1987).

Comportamiento similar en cuanto a la concentración de calcio en los distintos momentos de cosecha se observó en raíces tuberosas del cv. Rocha cultivada en una región ecogeográfica idéntica aunque bajo invernadero (Medina *et al.*, 2017). Sin embargo, valores hasta 5 veces menores fueron hallados en la variedad Tempranita de mandioca cultivadas en Maracaibo, Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2009). Parry *et al* (2005) informó valores próximos de calcio a los observados en la cosecha de 9 meses en el presente ensayo. Por otra parte, hasta 5 veces más cantidad de este elemento se ha obtenido en este experimento de los registrados por Howeler (2002).

El aporte de calcio en raíz suele ser insignificante ya que se encuentra hasta 100 veces más este elemento en hojas, distinto a lo que ocurre con el fósforo, cuya concentración es hasta 3 veces mayor en raíces que en hojas (Gil y Buitrago, 2002).

Contenido de Magnesio.

El contenido de magnesio de harinas de raíces tuberosas de mandioca varió de 0,055 a 0,925% (Tablas 1, 2 y 3).

Bradbury y Holloway (1988) y la USDA (2007), informaron valores de magnesio en raíces de mandioca de 0,021 a 0,03%, muy por debajo de lo que se halló en esta tesisina.

Por su parte, Woot-Tsuen *et al.* (1968) informaron valores de contenido de magnesio 0,27 a 0,42% en muestras de raíces de mandioca sin especificar la edad de las mismas, ni la variedad cultivada.

Rodríguez *et al.* (2009), realizando una evaluación particionada en el cultivar de mandioca Tempranita plantado en Maracaibo, Venezuela, evidenciaron una concentración de magnesio de 0,07% en las raíces reservantes. Howeler (2002) y Parry *et al.* (2005) registraron valores de porcentaje de magnesio de 0,06 y 0,18%, respectivamente.

Contenido de Sodio.

El porcentaje de Na en harinas de raíces tuberosas de mandioca osciló entre 0,007 a 0,091%.

Como puede observarse en este ensayo y como lo expresara Medina *et al.* (2017), el análisis particionado y porcentual en base seca del elemento Na entre los minerales evaluados, es el que se encuentra en menor proporción, muy por debajo de los demás.

El porcentaje de Na se encontró dentro de los valores informados por Gil y Buitrago (2002) y Richardson (2013). Incluso, Bradbury y Holloway (1988) informaron valores de Na tan bajos como los hallados en esta tesisina (Na=0.007%) estudiando 82 muestras de mandioca. Asimismo, Montagnac *et al.* (2009) informaron valores muy similares de Na (76 ppm) a los registrados como mínimos en esta tesisina. USDA (2007) cita valores de 0.014% de Na en raíces de mandioca.

Análisis estadísticos de la concentración de nutrientes en función de los factores estudiados y su interacción.

Del resultado de los análisis estadísticos realizados (Tabla 4), se desprende que el factor Momento de cosecha como el factor Campañas generaron diferencias significativas con respecto a todos los nutrientes evaluados. Por otro lado, el factor Cultivar sólo arrojó diferencias significativas en %N y %K. Dependiendo de la Campaña agrícola las variaciones en la concentración de N, P, K y Ca presentaron un comportamiento definido, ya sea lineal o parabólico (Figura 2).

Medina *et al.* (2017) no registraron diferencias significativas en los contenidos de P, K, Ca, Mg y Na de raíces tuberosas de mandioca debidas al Cultivar, ni respecto al Momento de cosecha, en cultivos de mandioca bajo invernadero.

La escasa o nula influencia del Cultivar sobre el contenido de algunos nutrientes no resulta común ya que se ha documentado que hay un marcado efecto que ejerce el genotipo sobre caracteres morfométricos, agronómicos y químicos de la mandioca (Marín *et al.*, 2008; Mtunguwa *et al.*, 2016).

En términos nutricionales, en coincidencia con Rodríguez *et al.* (2009), el macronutriente de mayor concentración en las raíces tuberosas fue el K y el de menor

concentración fue el Mg, tanto para cada factor y nivel analizado, como para el promedio general. Tratándose del Na, la concentración en raíces resultó la más baja en todos los casos, con respecto al resto de los nutrientes evaluados, correspondiéndose con lo informado por Bradbury y Holloway (1988) y Montagnac *et al.* (2009).

Tabla 4. Concentración de nutrientes evaluados en raíces tuberosas de plantas de 3 cultivares de mandioca, cosechadas en 4 momentos y cultivadas en 3 campañas agrícolas en Corrientes, Argentina.

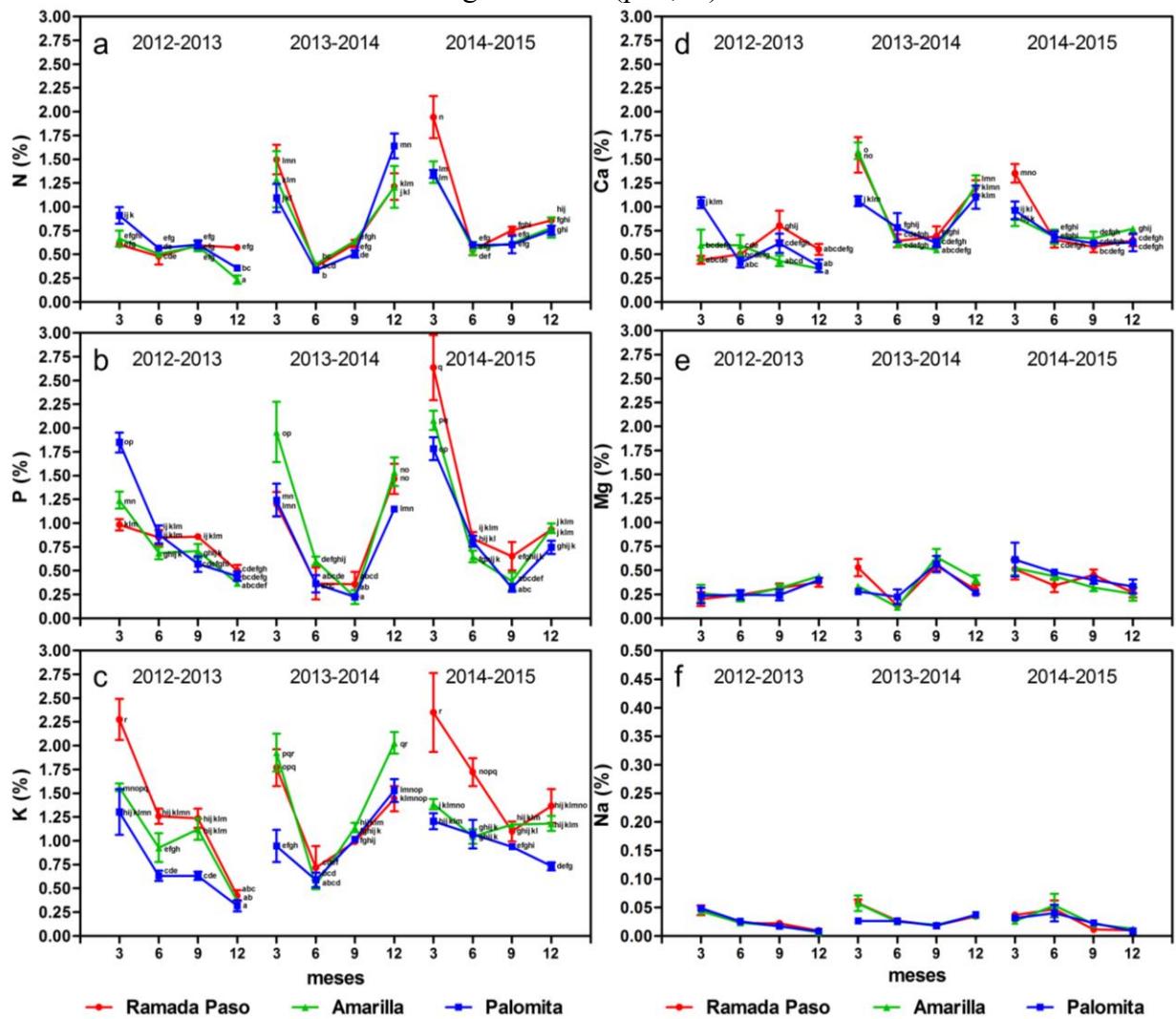
Factores e Interacciones		Nutriente (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Cultivar (Cv)	Palomita	0,78ab*	0,87a	0,91a	0,74a	0,36a	0,026a
	Amarilla	0,74a	0,95a	1,20b	0,75a	0,36a	0,029a
	Ramada Paso	0,84b	0,97a	1,39c	0,80a	0,35a	0,029a
Momentos de cosecha (MC) (días)	90	1,19a	1,66a	1,64a	1,05a	0,39ab	0,042a
	180	0,48d	0,67c	0,95c	0,62c	0,27c	0,032b
	270	0,61c	0,48d	1,04b	0,62c	0,42a	0,019c
	360	0,85b	0,90b	1,04bc	0,76b	0,34b	0,018c
Campañas (Cam)	2012-2013	0,56a	0,83a	1,01a	0,56a	0,29a	0,024a
	2013-2014	0,90b	0,89a	1,22b	0,97c	0,36b	0,032b
	2014-2015	0,89b	1,07b	1,27b	0,76b	0,41c	0,027a
<i>Cv x MC x Cam</i>	<i>Prom. Gral.</i>	0,78	0,93	1,17	0,76	0,36	0,028
p-valor**	---	0,0002	0,0072	0,0349	<0,0001	0,4104	0,1196

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$); **p-valor de la interacción

Rodríguez *et al.* (2009) concluyeron que existe una notable variabilidad de las concentraciones de los minerales en las raíces tuberosas atribuidos tanto al momento de cosecha y a su manejo nutricional.

En términos fisiológicos y agronómicos, es relevante establecer el efecto de los factores que afectan el contenido mineral de los órganos porque podría aportar a la comprensión de las variaciones de la relación fuente-destino que experimentan las plantas durante el ciclo productivo (Medina *et al.*, 2015) y de esta manera ajustar técnicamente las recomendaciones de fertilización a los momentos de máxima necesidad (Rodríguez *et al.*, 2009).

Figura 2. Concentración de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) y Na (f) de raíces tuberosas de plantas de 3 cultivares de mandioca (Palomita, Amarilla y Ramada Paso), cosechadas en 4 momentos (3, 6, 9 y 12 meses de la plantación) y cultivadas en 3 campañas agrícolas (2012-2013, 2013-2014, 2014-2015) en Corrientes, Argentina. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).



Caracterización climática.

En la Tabla 5 se presentan los valores procesados en forma resumida de Precipitación acumulada anual y por cada momento de cosecha, Temperatura y Humedad relativa ambiente media anual y por cada momento de cosecha para cada campaña agrícola evaluada.

Tabla 5. Precipitaciones, temperatura y humedad relativa ambiente media anual y por momento de cosecha ocurridas en el ciclo productivo de 3 cultivares de mandioca durante tres campañas agrícolas consecutivas en Corrientes, Argentina.

Campañas	2012-2013			2013-2014			2014-2015		
	Período	PP (mm)	TM (°C)	HRA (%)	PP (mm)	TM (°C)	HRA (%)	PP (mm)	TM (°C)
3 meses	443,6	27,8	74,1%	460,5	26,8	75,3%	320,3	26,8	73,6%
6 meses	459,4	26,5	78,3%	514,5	27,6	75,1%	469,0	26,4	77,2%
9 meses	257,9	19,9	81,9%	32,3	17,8	80,4%	354,5	19,1	82,2%
12 meses	67,9	17,6	71,7%	85,0	20,4	78,2%	73,5	22,1	75,3%
Anual	1228,8	22,7	76,3%	1092,3	23,5	77,3%	1216,3	23,6	77,1%

Referencias: Período: Momentos de cosecha o Anual; PP: Precipitaciones acumuladas; TM: Temperatura media; HRA: Humedad relativa ambiente.

La mandioca es una especie que crece en una multitud de condiciones edafoclimáticas tropicales y subtropicales. Es un cultivo de amplia adaptación ya que se planta desde el nivel del mar hasta los 1.800 msnm, a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C, una humedad relativa entre 50 y 90 por ciento con una óptima de 72 por ciento y una precipitación anual entre 600 y 3.000 mm con una óptima de 1.500 mm. Su ciclo de crecimiento desde la plantación a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: es de 7 a 12 meses en áreas más cálidas y es mayor a 12 meses en regiones con alturas de 1.300 a 1.800 msnm o cuando la producción se quiere destinar a industria. Su producción se desarrolla en varias etapas a saber: enraizamiento de las estacas en el primer mes; tuberización, entre el primer y segundo mes o hasta el tercero, dependiendo del cultivar; engrosamiento radical, entre el tercero y cuarto mes o hasta el sexto, dependiendo del cultivar, acumulación, entre el quinto y sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo (habitualmente 9-10 meses después de la plantación) y reposo vegetativo en los meses más fríos (Montaldo, 1991; Aristizábal y Sánchez, 2007). La recolección de raíces tuberosas de mandioca destinadas al consumo humano comienza normalmente a partir del séptimo mes de plantación y se extiende hasta el décimo mes (De Bernardi, 2011), por ello en esta tesis se pretendió cubrir ese rango de posibilidades de cosecha, contemplando además un período anterior y un posterior para ahondar en el conocimiento básico de los requerimientos nutricionales de la especie con futuras miras al planteo de fertilizaciones racionales y para identificar las potencialidades nutricionales de las raíces extraídas durante todo el año de cultivo.

Las variaciones de la composición mineralógica de las raíces tuberosas que resultaron significativas estadísticamente y que se deben al factor Campañas y al factor Momento de Cosecha, podrían estar relacionadas a las variaciones medioambientales acaecidas anualmente y en función del momento de cosecha considerado, el cual se corresponde no sólo con la edad de las plantas si no con un momento fenológico en particular (Montaldo, 1991; Bertollo, 2019).

La precipitación acumulada anual de las 3 campañas (Tabla 5) estuvo comprendida en el rango pluviométrico requerido para el cultivo de la mandioca, incluso cercana a la precipitación acumulada anual de 1500 mm considerada óptima (Aristizábal y Sánchez, 2007). Es de destacar que la campaña 2013-2014 fue la de menor precipitación acumulada, siendo el periodo de la cosecha de 9 meses donde se registró la menor cantidad de lluvia acumulada y que dista notablemente de los valores observados en las campañas 2012-2013 y 2014-2015.

Las temperaturas medias anuales registradas en las 3 campañas (Tabla 5) fueron cercanas a la considerada óptima (24 °C) para el cultivo de mandioca (Aristizábal y Sánchez, 2007). Respecto de las temperaturas medias por momento de cosecha, las de 3 y 6 meses estuvieron próximas al rango superior idealmente requerido, la de 12 meses adyacentes al rango inferior requerido con excepción de la campaña 2012-2013, y la de 9 meses por debajo del rango inferior en todas las campañas evaluadas. Las temperaturas medias acaecidas a los 9 meses después de la plantación para las 3 campañas fueron bajas coincidiendo con los meses de abril, mayo y junio, en cuyo transcurso se desencadena el reposo vegetativo debido a la ocurrencia de temperaturas cercanas a la considerada base por debajo de la cual no habría actividad de crecimiento (Ternes, 2002). De nuevo de las 3 campañas analizadas, la campaña 2013-2014 fue donde se registró la temperatura media más baja para los 9 meses, cercana a la temperatura base de la especie. En las campañas 2013-2014 y 2014-2015 en el último trimestre evaluado (cosecha de 12 meses) se manifestó un repunte de la temperatura media respecto del trimestre anterior, a diferencia de lo ocurrido en ese período para la campaña 2012-2013, pudiendo relacionarse estos sucesos con el comportamiento diferencial en función del tiempo (*i.e.* linear o parabólico) observado en determinados nutrientes (Figura 2).

Con respecto a la humedad relativa ambiente, tanto la media anual como las calculadas por cada momento de cosecha, estuvieron dentro del rango requerido para especie (Aristizábal y Sánchez, 2007), no evidenciándose diferencias marcadas entre campañas (Tabla 5). En las 3 campañas agrícolas evaluadas, el mayor porcentaje de humedad relativa ambiente se manifestó durante el período de 9 meses del cultivo.

CONCLUSIONES

La concentración de N, P, K, Ca, Mg y Na de raíces tuberosas de mandioca variaron en función del Momento de cosecha y las Campañas agrícolas. El factor Cultivar sólo afectó significativamente el %N y %K de las raíces tuberosas. El macronutriente de mayor concentración en las raíces tuberosas fue el K y el de menor concentración fue el Mg. En el caso del Na, su concentración en las raíces tuberosas resultó la más baja en todos los casos. La interacción entre el Cultivar x Momento de cosecha x Campañas produjo diferencias significativas en las concentraciones de N, P, K y Ca de las raíces tuberosas de mandioca, no así con respecto a las de Mg y Na. Dependiendo de la Campaña agrícola las variaciones en la concentración de N, P, K y Ca presentaron un comportamiento definido, ya sea linear o parabólico. Para validar tales evidencias serán necesarias mayores investigaciones.

BIBLIOGRAFIA:

- 1 **Allem, A.C. 2002.** The origins and taxonomy of cassava. En: Hillocks, R.J.; J.M. Tresh y A.C. Bellotti (Eds.). *Cassava: biology, production and utilization*. CABI Publishing, Oxon, United Kingdom, p. 1-16.
- 2 **A.O.A.C. 2012.** Official Method of Analysis. 19th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, EE.UU. 2610 pp.
- 3 **Aristizábal, J. y T. Sánchez. 2007.** Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO, Roma, Italia. 134 pp.
- 4 **Barrios, E.A. y R. Bressani. 1967.** Composición química de la raíz y de la hoja de algunas variedades de yuca *Manihot*. Turrialba 17:314-20.
- 5 **Bertollo, J.J. 2019.** 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 para optar por el grado de Maestría en Producción Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste. 87 pp.
- 6 **Bradbury, J.H. y W.D. Holloway. 1988.** Cassava, *Manihot esculenta*. Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research, Monograph 6, Canberra, Australia, p. 76–104.
- 7 **Bruniard, E. 2000.** Los régimenes climáticos y la vegetación natural. Aportes para un modelo fitoclimático mundial. Acad. Nac. Geografía. Publ. Esp. N°16, Bs.As., Argentina. 79 pp.
- 8 **Buitrago, A.J.A. 1990.** La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 446 pp.
- 9 **Burgos, A.M. 2018.** Estado actual del cultivo de mandioca en la República Argentina. Agrotecnia 27: 14-18.
- 10 **Burns, A.E., R.M. Gleadow y A.M. Zacarias A.M. 2012.** Variations in the chemical composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves and root as affected by genotypic and environmental variation. School of Biological Sciences, Faculty of Science, Monash University, Victoria, Australia – Mozambique Agricultural Research Institute (IIAM), Nampula, Mozambique, p. 4946-4956.
- 11 **Cabral, G., L. Carvalho y B. Schaal. 2000.** The formation of storage root in cassava. En Carvalho L., Thro A., Duarte Vilarinhos A. (Eds.) Proc. 4º Int. Scientific Meeting of Cassava Biotechnology Network. EMBRAPA. Brasilia, Brazil, p. 345-356.
- 12 **Carnevali, R. 1994.** Fitogeografía de la provincia de Corrientes. Gobierno de la Provincia de Corrientes. 324 pp.
- 13 **Ceballos, H. 2002.** La yuca en Colombia y el mundo. 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. 1-13.
- 14 **Ceballos, H. y de la Cruz, G.A. 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. 17-33.

- 15 **Ceballos, H., T. Sánchez, A. Chávez, C. Iglesias, D. Debouck, G. Mafla y J. Tohme.** 2006. Variation in crude protein content in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 589-593.
- 16 **Charles, A.L., Y.H. Chang, W.C. Ko, K. Sriroth y T.C. Huang.** 2004. Some physical and chemical properties of starch isolates of cassava genotypes. *Starch/Stärke* 56:413-8.
- 17 **CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).** 1980. Suelos y nutrición mineral de plantas. Informe anual. CIAT, Cali, Colombia. p: 35-48.
- 18 **Cock, J.H.** 1985. Cassava: new potential for a neglected crop. Boulder and London. Westview Press. 191 p.
- 19 **De Bernardi, L.** 2011. Mandioca. *Alimentos Argentinos* 51: 49-52.
- 20 **El-Sharkawy, M.A.** 2003. Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology* 53:621-41.
- 21 **El-Sharkawy, M.A.** 2012. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. *Open Journal of Soil Science* 2: 162-186.
- 22 **Escobar, E.H., D. Lígier, R. Melgar, H. Matteio y O. Vallejos.** 1994. Mapa de suelo de los Departamentos de Capital, San Cosme e Itatí de la Prov. de Corrientes. Publicación del convenio del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.-ICA) y Pcia. de Corrientes-CFI. 129 pp.
- 23 **FAOSTAT (The Statistics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO).** 2017. FAO. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Fecha de consulta: 8/11/2017.
- 24 **Gil, J.L. y A.J.A. Buitrago.** 2002. La yuca en la alimentación animal. En: B. Ospina y H. Ceballos (Eds). La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT, Cali, Colombia, p. 527-69.
- 25 **Gómez, G. y M. Valdivieso.** 1985. Cassava foliage: chemical composition, cyanide content and effect of drying on cyanide elimination. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36:433-41.
- 26 **Henaín, A.E. y H.M. Cenóz.** 1972. La mandioca - *Manihot esculenta* Crantz. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Corrientes, Argentina. 100 pp.
- 27 **Howeler, R.H.** 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization. En: Hillocks, R.J., J.M. Theresh y A.C. Bellotti (Eds),, Cassava: biology, production and utilization., CAB International, Wallingford, United Kingdom, p. 115-147.
- 28 **Howeler, R.H.** 2014. Sustainable soil and crop management of cassava in Asia. CIAT. Cali, Colombia. 280 pp.
- 29 **InfoStat.** 2002. InfoStat versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. 276 pp.
- 30 **Jacquot, R.** 1957. Les facteurs d'efficacité alimentaire. En: Nutrition et alimentation tropicale : recueil des conférences du deuxième cours de nutrition pour l'Afrique noire. Réunion de la F.A.O. sur la nutrition, Rapport N° 20 : 323-430.
- 31 **Lancaster, P.A. y J.E. Brooks.** 1983. Cassava leaves as human food. *Economy Botany* 37: 331-348.
- 32 **Marín, A., D. Perdomo, J. Albarrán, F. Fuenmayor y C. Zambrano.** 2008. Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones élitres de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia* 33: 365-371.

- 33 **Medina, R.D., A. Burgos, S. Schaller y P. Cenóz.** 2015. Análisis temporal de eventos morfogénicos durante el ciclo productivo de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de diferentes genotipos cultivados a campo. XVI Congresso Brasileiro de Mandioca y I Congresso Latinoamericano e Caribenho de Mandioca, p. 76.
- 34 **Medina, R.D., A.M. Burgos, M. Michelod y P.J. Cenóz.** 2017. Cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en invernadero: efectos sobre el rendimiento y la calidad de raíces tuberosas. *Interciencia* 42: 515-521.
- 35 **Montagnac, J.A., C.R. Davis y S.A. Tanumihardjo.** 2009. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. Institute of Food Technologists. Department of Nutritional Sciences, University of Wisconsin-Madison. Madison. USA, p: 181-194.
- 36 **Montaldo, A.** 1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica, p. 131-230.
- 37 **Mtunguja, M., H. Laswai, E. Kanju, J. Ndunguru y Y. Muzanila.** 2016. Effect of genotype and genotype by environment interaction on total cyanide content, fresh root, and starch yield in farmer-preferred cassava landraces in Tanzania. *Food Science and Nutrition* 4: 791-801.
- 38 **Murphy, G.M. (Ed.).** 2008. *Atlas agroclimático de la Argentina*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 130 pp.
- 39 **Offor C., I. Igwengi, C. Afiukwa, A. Uruaku, G. Aloh, P. Aja y F. Onwe** 2012. The comparative proximate compositions of staple food crops in Ezzamgbo and Iboko of Ebonyi State, Nigeria. *Continental Journal of Pharmacology and Toxicology Research* 5: 23-27.
- 40 **Okigbo, B.N.** 1980. Nutritional implications of projects giving high priority to the production of staples of low nutritive quality. In the case for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the humid tropics of West Africa. *Food and Nutrition Bulletin* 2: 1-10.
- 41 **Parry, M.M., J.G. de Carvalho, M. do S.A. Kato y K. Vielhauer.** 2005. Estado nutricional da mandioca cultivada em diferentes épocas sob cobertura morta e duas adubações. *Revista Científica Agraria*, Belém 43: 91-114.
- 42 **Richardson, K.** 2013. Quality characteristics, root yield and nutrient composition of six Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Varieties. GRAC Crop Research Report Nº 18, Department of Agriculture. Nasáu, Bahamas. 13 pp.
- 43 **Rodríguez, Z., L. Márquez, J. Martínez y M. Montiel.** 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.
- 44 **Sampaio, A.O., J. Ferreira Filho y P.A. Almeida.** 1994. Cultivo consorciado de mandioca para alimentação animal. *Revista Brasileira de Mandioca* 13: 89-98.
- 45 **Soil Survey Staff.** 1975. *Soil Taxonomy*. EE.UU., Depto. de Agricultura, Servicio de Conservación de Suelos. Traduc. Venezuela. Manual Nº 18.
- 46 **Soil Survey Staff.** 1990. *Kays to Soil Taxonomy*. SMSS Technical Monograph Nº 6, Fourth Edition. Soil Survey Staff. Virginia, EE.UU. 422 pp.
- 47 **Techeira, N., L. Sívori, B. Perdomo, A. Ramírez y F. Sosa.** 2014. Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.),

- batata (*Ipomoea batatas* Lam.) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia* 39: 191-197.
- 48 **Ternes, M. 2002.** Fisiología da planta. En: Cereda, M.P. (Ed.) Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundación Cargill. San Pablo, Brasil, p. 66-82.
- 49 **Tewe, O.O. y N. Lutaladio. 2004.** Cassava for livestock feed in Sub-Saharan Africa. FAO, Roma, Italia. Disponible en [#Contents](http://www.fao.org/3/j1255e/j1255e00.htm). Fecha de consulta: 23/11/2020.
- 50 **USDA. 2007** National Nutrient database for Standard Reference. www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search. August 2007.
- 51 **Uset, O.A. 2008.** Producción de Mandioca y sus Usos. EEA INTA Montecarlo, Montecarlo, Misiones. Argentina. 22 pp.
- 52 **Velásquez, E. 2006.** Efecto de la variabilidad en genotipos de yuca sobre factores vinculados a la brotación y crecimiento de esquejes. *Bioagro* 18: 41-48.
- 53 **Wheatley, Ch., G.J. Scott, R. Best y S. Wiersema. 1997.** Métodos para agregar valor a raíces y tubérculos alimenticios: manual para el desarrollo de productos. CIAT, Cali, Colombia. 187 pp.
- 54 **Woot-Tsuen, W.L., F. Busso y C. Jardin. 1968.** Food composition table for use in Africa. FAO. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X6877E/X6877E00.htm>