

NOTA TÉCNICA

Extracción de nutrientes del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos a tres edades de rebrote con tres niveles de fertilización nitrogenada¹

Maikol Astúa Ureña^{A2}, Augusto Rojas-Bourrillon^{A3}, Carlos M. Campos-Granados^{A4}

RESUMEN

Se realizó un ensayo para evaluar la extracción de nutrientes del botón de oro a diferentes edades de rebrote (20, 40 y 60 días) y niveles de fertilización (0, 100 y 200 kg N/ha/año), en la zona del Pacífico Central de Costa Rica, en una finca lechera ubicada a 15 msnm y con una precipitación promedio de 265,7 mm/mes; el tipo de suelo se clasifica en el orden de los Inceptisoles. Para los 9 tratamientos evaluados se determinaron las concentraciones foliares de macro y micronutrientes considerando las dos épocas del año, lluviosa y seca. La extracción de nitrógeno reflejada como kg nutriente/ha/corte, mostró una tendencia a aumentar conforme se incrementaba el nivel de fertilización para todas las edades evaluadas. La extracción de calcio mostró valores crecientes conforme aumentaba la edad de la planta y el nivel de fertilización (2-55 kg Ca/ha/corte), los cuales son altos en comparación a otros cultivos forrajeros. Para el resto de macronutrientes (fósforo, magnesio, potasio, azufre), la tendencia es la misma que con el nitrógeno y el calcio. En el caso de los micronutrientes (boro, manganeso, cobre, hierro y zinc) se encontró una tendencia al aumento conforme aumentaba la edad de rebrote y el nivel de fertilización nitrogenada. Con base en los resultados obtenidos de este ensayo, se puede concluir que el botón de oro es un cultivo forrajero con importantes requerimientos nutricionales, lo cual demuestra que a pesar de su conocida rusticidad y su poco manejo agronómico por parte de los productores, es un cultivo que responde positivamente a la fertilización.

Palabras clave: nutrición vegetal, requerimientos, macronutrientes, micronutrientes

¹Este trabajo forma parte de la tesis de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

^{A4}Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José Costa Rica.

²Correo electrónico: maikol.astua@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-4513-8017>)

³Correo electrónico: augusto.rojas@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

^{A2}Autor para correspondencia: carlosmario.campos@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-0079-2621>)

Recibido: 31 agosto 2020 Aceptado: 21 octubre 2020

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



ABSTRACT

Nutrient extraction of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) INTA-Quepos ecotype at three regrowth ages with three levels of nitrogen fertilization. A trial was carried out to evaluate the extraction of nutrients from the gold button at different regrowth ages (20, 40 and 60 days) and fertilization levels (0, 100 and 200 kg N / ha / year), in the Central Pacific zone of Costa Rica, in a dairy farm located at 15 meters above sea level and with an average rainfall of 265,7 mm / month; the type of soil is classified in the order of Inceptisols. For the 9 treatments evaluated, the foliar concentrations of macro and micronutrients were determined considering the two seasons of the year, rainy and dry. The nitrogen extraction reflected as kg nutrient / ha / harvest, showed a tendency to increase as the fertilization level increased for all the evaluated regrowth ages. The extraction of calcium showed increasing values as the age of the plant and the level of fertilization increased (2-55 kg Ca / ha / cut), which are high compared to other forage crops. For the rest of the macronutrients (phosphorus, magnesium, potassium and sulfur), the trend is the same as with nitrogen and calcium. In the case of micronutrients (boron, manganese, copper, iron and zinc) an increasing trend was found as the regrowth age and the level of nitrogen fertilization increased. Based on the results obtained from this trial, it can be concluded that the gold button is a forage crop with important nutritional requirements, which shows that despite its well-known rusticity and poor agronomic management by producers, it is a crop that responds positively to fertilization.

Keywords: plant nutrition, requirements, macronutrients, micronutrients

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, por sus condiciones tropicales, la producción bovina está basada en la utilización de forrajes (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2015). Hoy en día, el botón de oro se encuentra muy distribuido en el país en sistema de producción bovina de carne y de leche. Esto debido, al esfuerzo de instituciones como el Instituto Nacional de Transferencia Agropecuaria que ha incentivado el uso del ecotipo INTA-Quepos. Sin embargo, en Costa Rica se han reportado 34 ecotipos de *Tithonia diversifolia* según el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) (Arronis-Díaz, 2015).

La *Tithonia diversifolia* es una planta perenne, arbustiva de la familia Asteraceae, la cual posee un tallo erecto, ramificado, hojas alternas y pecioladas, gran volumen de raíces, confiriéndole habilidad para extraer nutrientes escasos del suelo y así tener una recuperación

rápida después del corte (Pérez et al., 2009). Se considera originaria de México y Centroamérica, sin embargo, se encuentra extendida en varios continentes (González-Castillo, Hahn von-Hessberg y Narváez-Solarte, 2014), presentando gran adaptabilidad y en ocasiones descrita como una planta invasora (La et al., 2012). Esta planta se puede establecer en alturas de 0 a 2.700 msnm, en suelos de baja o alta fertilidad y regímenes pluviales de 600 a 6.000 mm/año (Medina, García, González y Cova, 2009).

El botón de oro, es una planta de alto potencial para su uso en sistema de producción animal (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma y Angulo-Arizala, 2016), especialmente de rumiantes. El potencial de este arbusto forrajero se basa en su alta capacidad de producir biomasa de buena calidad nutricional (Savón et al., 2008); principalmente niveles de proteína de 14-28% y una degradabilidad ruminal que oscila entre 50-90% (Medina et al., 2009).

El suelo, la planta y el clima son los factores de un sistema de producción agrícola, la correcta interacción entre ellos, con intervención del hombre determina la productividad de un cultivo (Bertsch, 1998). La planta extrae los nutrientes necesarios para su crecimiento del suelo, sin embargo, debe haber un balance para un desarrollo eficiente. La fertilización contribuye al correcto balance, sin embargo, para realizar fertilizaciones es necesario conocer la demanda del cultivo (Palma-López et al., 2002), la cual es determinada por medio de una curva de extracción de nutrientes (Rivera, 2008).

La información sobre capacidad extractora del botón de oro es escasa y al ser una familia no habitual usada como forraje, se vuelve de interés realizar investigaciones en esta línea, además, que permite ir reconociendo el cultivo, en este caso el ecotipo INTA-Quepos. Por lo tanto, este artículo tiene el objetivo de dar a conocer los resultados de la extracción de nutrientes del botón de oro en condiciones del Pacífico Central de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en la finca comercial La Florita S.A., ubicada en Quebrada Amarrilla, Puntarenas, Costa Rica, en las coordenadas N9 34.561 W84 32.395. La finca se encuentra a una altura de 15 msnm, con un promedio de lluvias de 265,7 mm/mes y un acumulado de 3.188,3 mm/año distribuidos en 117,9 días al año (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN, 2019). El periodo experimental comprendió entre agosto 2018 y abril del 2019, considerando las dos épocas del año: seca y lluviosa. La finca no cuenta con un sistema de riego, por lo que la precipitación conformó la única forma de agua para el cultivo.

Características del suelo

El tipo de suelo de la zona se clasifica en el orden de los Inceptisoles, según el mapa de suelos de Costa Rica (CIA, INTA, ACCS y IICA,2016). Las características del suelo obtenidas a partir del muestreo del área experimental y de análisis químicos en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del suelo del área experimental utilizada para el desarrollo del ensayo.

KCl-Olsen Modificado	pH		cmol(+)/L			%				mg/L				
	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	MO	P	Zn	Cu	Fe	Mn	
Nivel crítico	5,5	0,5	4,0	1,0	0,2	5,0				10,0	3,0	1,0	10,0	5,0
Muestra	5,5	0,3	25,2	15,1	0,1*	40,8	0,8	2,9	3,0*	3,4	12,0	50,0	41,0	

CICE=Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

MO= Materia orgánica.

*Se realizaron las aplicaciones respectivas de P y K antes del inicio del periodo experimental para llegar al nivel crítico del suelo.

Fuente: Centro de Investigación Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Cultivo

El ecotipo de botón de oro utilizado correspondió al INTA-Quepos, el cual se estableció por medio de estacas de 40 cm de longitud sembradas a 10 cm de profundidad y en un marco de siembra de 1 m X 1 m (10.000 plantas/ha). Después de 4 meses (120 días) de crecimiento del cultivo (desarrollo radicular y generación de reservas) se realizó un corte de homogenización.

Tratamientos

Los tratamientos fueron determinados por la interacción de la edad de corte (20, 40 y 60 días) con los niveles de fertilización (0, 100 y 200 kg N/ha/año). La fertilización se distribuyó en tres dosis, la fuente utilizada fue el nitrato de amonio (33,5% N), la aplicación se realizó localizada por planta. La distribución de tratamientos se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de los niveles de los factores evaluados según tratamiento.

Tratamiento	Edad de corte (días)	Nivel de fertilización (kg N/ha/año)
T1	20	0
T2	20	100
T3	20	200
T4	40	0
T5	40	100
T6	40	200
T7	60	0
T8	60	100
T9	60	200

Diseño experimental

Para el diseño experimental (factorial 3x3) se usaron 36 unidades experimentales (parcelas de 4 m² cada una), distribuidas en 4 bloques (los bloques corresponden a las zonas del área experimental, pues esta no tenía una infiltración de agua homogénea). Los tratamientos se asignaron de forma aleatoria en los diferentes bloques.

Muestreo

Una vez realizado el corte de homogenización y establecidas las parcelas experimentales, se realizó el muestreo de las plantas centrales de la parcela descartando aquellas plantas de los bordes. Cada unidad experimental se cortó en cuatro ocasiones (2 en época seca y 2 en época lluviosa) para la toma de variables de interés, estos cortes se realizaron a 30 cm de altura del suelo, cosechando tallo y hojas.

Contenido de nutrientes a nivel foliar y niveles de extracción.

Una vez realizado el muestreo de las parcelas experimentales, se elaboró una muestra compuesta por tratamiento al final del experimento, a las cuales previamente se les determinó el porcentaje de materia seca. Estas fueron ingresadas al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica y se les determinó la concentración a nivel foliar de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y de los micronutrientes (boro, manganeso, cobre, hierro y zinc), según la metodología de KCl Olsen Modificada (Hunter, 1975).. Los niveles de extracción por nutrimento se determinaron al relacionar el contenido a nivel foliar (g o mg de nutriente) con la producción de biomasa (kg de materia seca) del cultivo según tratamiento, para obtener una extracción por hectárea (g o kg de nutriente//ha/corte).

Análisis de la información

Los datos de extracción por hectárea de cada nutrimento para los 9 tratamientos evaluados fueron analizados con estadística descriptiva (media, desviación estándar) para poder generar tendencias de los mismos y generar las curvas de extracción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de nutrimentos a nivel foliar

La concentración de nutrimentos expresada en g/kg de materia seca para los macronutrimentos se puede observar en la Figura 1. El N, seguido del K y Ca, fueron los macronutrientes con mayor presencia. El mismo comportamiento lo reportan Aye (2016) y Reis et al. (2016).

La concentración de NPK refleja la tendencia esperada, donde al incrementar la edad, las concentraciones disminuyen, esto producto de un aumento de biomasa por ende una dilución de los mismos. En cuanto al efecto de la fertilización nitrogenada, el N y K son los que muestran una tendencia de cambio. La concentración de nitrógeno muestra una correlación positiva con el nivel de fertilización, a excepción de la edad de 60 días (T7, T8 y

T9). Por otro lado, el potasio y el fósforo mostraron una correlación negativa con el nivel de fertilización sin importar la edad evaluada (Figura 1), esto se debe a un efecto de dilución, además, se realizó una fertilización inicial correctiva para que el suelo llegase a los valores críticos de estos dos nutrimentos.

El comportamiento del N se podría deber a que al aumentar la edad de la planta, los niveles de proteína disminuyen debido a la disminución de síntesis de compuestos proteicos, cantidad de hojas y el aumento de síntesis de componentes de la pared celular (Méndez et al., 2018)(Figura 1). En *Tithonia diversifolia*, este comportamiento ha sido evaluado por Verdecia et al. (2011) y han reportado una disminución proteica conforme aumenta la edad.

Botero-Londoño et al. (2019) encontraron contenidos de 43,7 g N/kg en condiciones de 0 fertilización a una edad de 50 días, pero con un incremento del mismo al fertilizar (209 N:83 P₂O₅:78 KO₂),llegando a valores de 48,9 g N/kg. Aye (2016), en una comparación del botón de oro con nacedero y moringa, reportó valores de 39 g N/kg MS; las muestras fueron obtenidas de un jardín botánico en Nigeria, perteneciente a la Ekiti State University. Sin embargo, Reis et al. (2016) mencionan valores de 30 g N/kg MS y 26 g N/kg MS en plantas con escasez de agua y con riego, respectivamente, a una edad de 80 días. Por otro lado, Olabode, Ogunyemi, Akanbi, Adesina y Babajide (2007) reportaron 17,6 g N/kg MS en plantas usadas como abono verde en Nigeria, es importante resaltar que estas plantas al usarse como abono verde, su edad de aprovechamiento es mayor a la edad de cosecha para alimentación animal. Cerdas-Ramírez (2018) realizó una investigación en el Pacífico Norte de Costa Rica, donde evaluó niveles de fertilización nitrogenada de 100 a 400 kg/ha, y reportó valores de 16-21 g N/kg MS a 49 días, lo cual se aproxima a lo encontrado en este ensayo (20-25 g N/kg MS). Esta similitud puede orientar a que el material usado en nuestro país presenta una menor capacidad de extracción de N.

El contenido de K (16-25 g/kg MS, Figura 1), en el presente estudio fue similar a lo informado por Cerdas-Ramírez (2018) de 24,4 g K/kg MS a 45 días con similares fertilizaciones de N. Cabe resaltar que en ambas investigaciones se presentaron altos niveles de Ca en el suelo y el antagonismo con el K (Taiz, Zeinger, Max-Moller y Murphy, 2015) pudo haber afectado estos valores, ya que, otros investigadores reportan valores superiores, de hasta 39,2 g K/kg MS (Olabode et al., 2007). Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) reportan valores de 20,7 g K/kg MS a una edad de 50 días y a 0 fertilización.

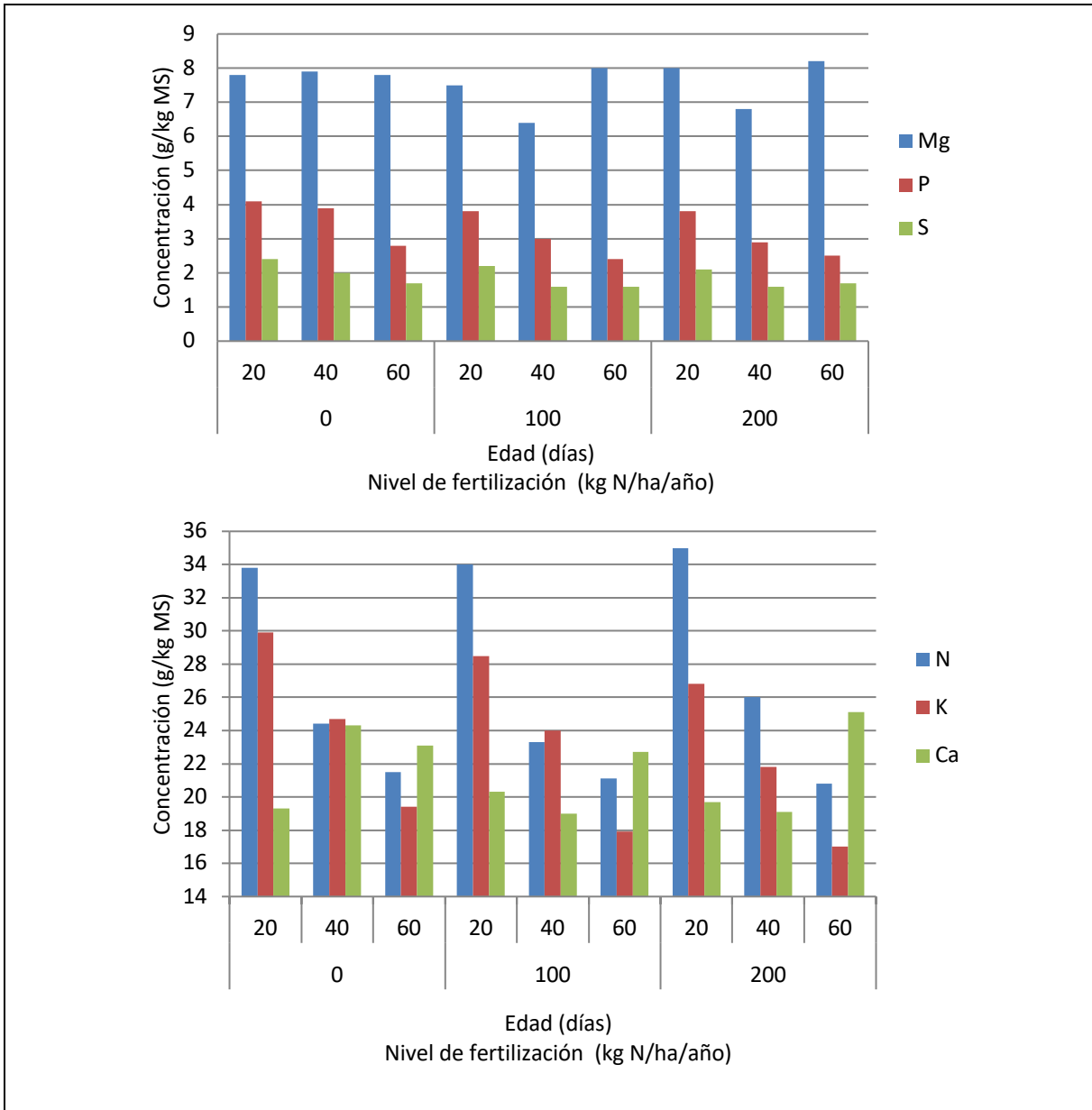


Figura 1. Contenido foliar (g/kg MS) de los macronutrientes de botón de oro evaluados a diferentes edades de rebrote y niveles de fertilización nitrogenada.

Los valores de P obtenidos en esta investigación (Figura 1) se encuentran por debajo de lo informado por Olabode et al. (2007) de 8,2 g P/kg MS y en el rango de 4,9 a 8 g P/kg de MS determinado por Botero-Londoño et al. (2019). Estos últimos autores obtuvieron estos valores al realizar una fertilización con niveles crecientes de P, determinando una respuesta a la misma. Los valores inferiores en la presente investigación se pueden deber a la escasez de agua, debido a que, bajos contenidos hídricos conllevan a una reducción de la tasa de difusión, principal mecanismo de absorción del fósforo (Bonadeo et al., 2017). Este

comportamiento se ve reflejado en la investigación realizada por Reis et al. (2016), donde a 80 días de edad obtuvieron 1,4 y 1,8 g P/kg MS en un sistema de escasez hídrico y con disponibilidad de riego, respectivamente.

El calcio mostró una tendencia de aumento en la concentración foliar al incrementar la edad de rebrote (Figura 1). Este comportamiento es el esperado, debido a que el Ca tiene influencia a nivel de pared celular, en otras palabras, al aumentar la edad incrementa la acumulación de Ca (Taiz et al., 2015). Una tendencia similar es reportada Cerdas-Ramírez (2018). Los contenidos de Ca a una edad de 40-60 días se encuentran en el rango de 19-25 g Ca/kg MS, superiores a los 8,9 a 10,5 g/kg MS reportados por Cerdas-Ramírez (2018), pero similares a los 23,7 g Ca/kg MS informado por Botero-Londoño et al. (2019) a los 50 días de edad. Estos autores señalan un descenso del Ca al aumentar la fertilización de NPK debido a que, al utilizar el K en la fertilización, estimula la planta a absorberlo, provocando un efecto de antagonismo sobre el calcio (Taiz et al., 2015, Henríquez, Bertsch y Cabalceta, 1990).

El contenido de Mg se mantiene en un rango de 6,4 a 8,2 g/kg MS (Figura 1), lo cual es superior a los 2,6-3,3 g Mg/kg MS reportados a una edad de rebrote de 49 días por Cerdas-Ramírez (2018). De igual forma, Olabode et al. (2007) mencionan un contenido de 5 g Mg/kg MS, mientras Botero-Londoño et al. (2019) señalan datos de 5,5 a 6,3 g Mg/kg MS. En la actual investigación los niveles de Mg en el suelo eran de 15 cmol/L superiores a los 0,39 y 7,82 cmol/L presentes en las investigaciones de Botero-Londoño et al. (2019) y Cerdas-Ramírez (2018) respectivamente, además, el K se presentaba en bajas concentraciones (Cuadro 1) y no provocó ninguna interferencia.

El contenido de S se encuentra en el rango de 1,6 a 2 g/kg a una edad de 40-60 días (Figura 1). Estos datos son superiores a los 1,4 g S/kg a los 49 días reportados por Cerdas-Ramírez (2018). Por otro lado, Reis et al. (2016) reportan 1,8 g S/kg a 80 días de edad el cual hace suponer que a una edad más temprana se encontraría por encima de lo encontrado en la actual investigación, sin embargo, por los altos contenidos de Ca (Cuadro 1) en el suelo se esperaría que el S se encontrara precipitado como sulfato de calcio (Fassbender, 1975), sin embargo la literatura sobre este mineral en *Tithonia diversifolia* es escasa.

La concentración de nutrimentos expresada en mg/kg de materia seca para los macronutrimentos se puede observar en la Figura 2. Los micronutrimentos Fe y Mn son los que se encuentran en mayores concentraciones. El mismo comportamiento lo reportan Aye (2016) y Reis et al. (2016), mientras que Botero-Londoño, Gómez-Carabali y Botero-Londoño (2019) reportan el Zn en cantidades superiores a Mn.

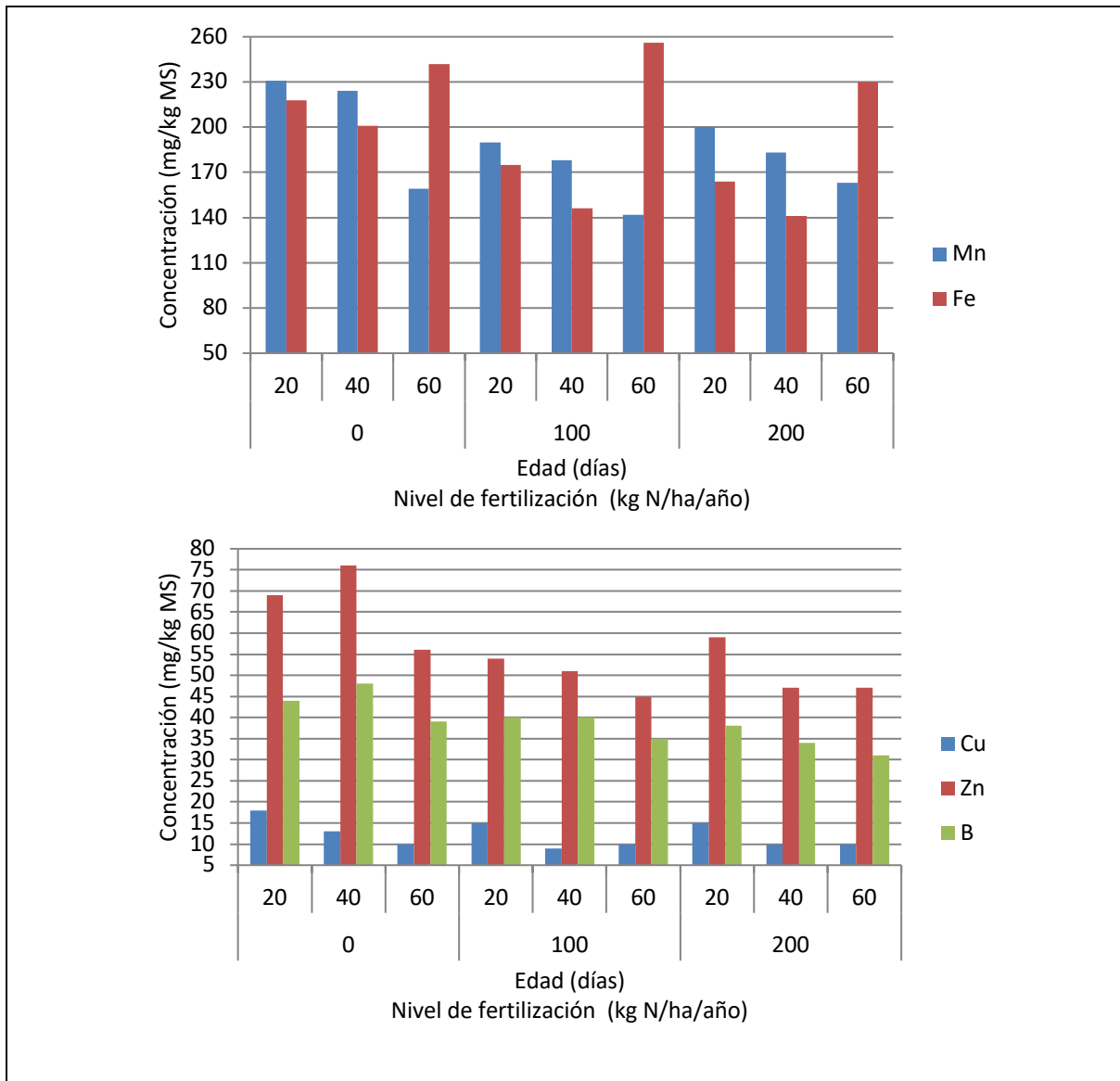


Figura 2. Contenido foliar (mg/kg MS) de los micronutrientes de botón de oro evaluados a diferentes edades de rebrote y niveles de fertilización nitrogenada.

El Fe, al igual que el Cu, Zn y Mn se comportan como un catión, por ende, tiene las interacciones, tanto a nivel planta como en el suelo. En esta investigación el comportamiento del Fe representa una reducción en la concentración conforme se incrementa la fertilización para las edades de 20 y 40 días, posiblemente debido al efecto de dilución; no así para la edad de 60 días donde los datos no muestran una tendencia. Los contenidos a nivel foliar varían de 141 a 256 mg Fe/kg (Figura 2), lo cual está por encima de los 142 mg reportados por Botero-Londoño et al., (2019).

El cobre presentó una tendencia a la disminución conforme incrementa la edad (Figura 2), al igual que con las dosis de nitrógeno a excepción de los tratamientos (T7, T8 y T9). El cobre influye en los procesos fotosintéticos, por lo que los resultados parecen indicar una disminución en la tasa de fotosíntesis al acercarse los 60 días, sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos tratamientos tuvieron menos disponibilidad de precipitaciones. El rango encontrado de Cu en este ensayo fue de 9 -18 mg Cu/kg MS, lo cual es inferior a los 20,1 mg/kg MS a los 50 días reportado por Botero-Londoño et al. (2019), y los 20 mg/kg MS indicados por Aye (2016). Los menores contenidos en esta investigación pueden estar asociados a efectos de antagonismo de otros cationes como el Mn y Ca, los cuales se encontraban en gran cantidad en el suelo (Cuadro1).

El zinc presentó mayores concentraciones a los 40 días lo cual coincide con la etapa en que la planta se encuentra en mayor crecimiento (Figura 2). El contenido a los 40 a 60 días fluctúa entre 45 a 76 mg Zn/kg, lo cual se encuentra por debajo de los 124 mg reportados por Botero-Londoño et al. (2019) a los 50 días de rebrote. Al igual que el Cu, el Zn pudo verse afectado por el antagonismo del Mn y Ca (Fassbender, 1975).

El manganeso presentó una tendencia a reducir su concentración al aumentar la edad del cultivo (Figura 2), lo cual va de la mano de una de su función como los es la reducción del N (Bertsch, 1998), el cual es un proceso que ocurre en el interior de la planta para usar el NO₃- absorbido (Taiz et al., 2015). El contenido de Mn a la edad de 40 a 60 días se encuentra en un rango de 142 a 224 mg Mn/kg MS, lo cual es superior a los 121 mg/kg MS reportado por Botero-Londoño et al. (2019) lo cual puede ir de la mano de los altos contenidos de Mn en el suelo (Cuadro 1).

El boro es un importante nutriente a nivel de procesos energéticos y estructurares de la célula (Taiz et al., 2015), además, de tener un comportamiento aniónico (Fassbender, 1975). Es un nutriente estable a través de la edad (Figura 2), posiblemente por las funciones expuestas. En cuanto al contenido a una edad de 40 a 60 días se cuenta con un rango de 31 a 48 mg/kg MS, lo cual se encuentra por debajo de los 62 mg B/kg MS a los 50 días reportados por Botero-Londoño et al. (2019), cabe resaltar efectos antagónicos de Mn y Ca, además, de la posibilidad de la precipitación por efecto de Fe (Fassbender, 1975), factores que pueden haber estado potenciados en la actual investigación por su nivel presente en el suelo (Cuadro 1).

Extracción de nutrimentos

La extracción de nutrientes dependerá de la producción de biomasa del cultivo, en la actual investigación la extracción de todos los nutrimentos aumentó conforme la edad de rebrote (Cuadro 3). La extracción de macronutrimentos presentó una correlación positiva con los niveles de fertilización nitrogenada. La edad de corte del botón de oro se ha reportado en la literatura es entre 45-60 días. Por lo tanto, el análisis de la extracción se centra en los tratamientos de 40 y 60 días ya que son los valores que se acercan a la realidad de lo que va a extraer el sistema.

La extracción de nitrógeno por corte fue mayor en T6 (76%) y T5 (48%) con respecto a T4, de igual forma, T9 (15%) y T8 (11%) con respecto a T7, lo cual muestra un efecto según los niveles de fertilización, sin embargo la respuesta no es lineal. Desde el punto de vista anual, la extracción se encontraría en un rango de 60 a 248 kg N/ha a 40 días y 240 a 278 kg N/ha a 60 días. Por otro lado, Cerdas-Ramírez (2018) reporta valores de 421 y 821 kg N/ha/año a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente. Además, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 211 kg N/ha/año a una edad de 50 días en condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78), obtuvieron valores de 528 y 829 kg N/ha/año, respectivamente.

Para el caso del potasio, los valores obtenidos para T6 (69%) y T5 (48%) fueron mayores a T4, de igual forma, T9 (4%) y T8 (4%) con respecto a T7, lo cual muestra un efecto según los niveles de fertilización, sin embargo, la respuesta no es lineal. Desde el punto de vista anual, la extracción se encontraría en un rango de 61 a 207 kg K/ha a 40 días y 218 a 229 kg K/ha a 60 días. Cerdas-Ramírez (2018) reporta extracciones de 636 y 991 kg K/ha/año a una edad de 49 días y con un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente. Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) menciona extracciones de 107,2 kg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 391 y 461 kg, respectivamente.

La extracción de fósforo por corte fue mayor en T6 (63%) y T5 (31%) con respecto a T4, de igual forma, T9 (5%) y T8 (0%) con respecto a T7, lo cual muestra un efecto según los niveles de fertilización mayor a los 40 días. Desde el punto de vista anual la extracción se encontraría en un rango de 10 a 27 kg P/ha a 40 días y 32 a 33 kg P/ha a 60 días. Estos valores están por debajo de los 81 y 111 kg P a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente (Cerdas-Ramírez, 2018). Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 23,9 kg a una edad de 50 días en condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 79 a 141 kg, respectivamente.

Cuadro 3. Medias y desviación estándar de la extracción de macronutrientes (kg/corte/ha) del botón de oro a diferentes edades y niveles de fertilización nitrogenada.

Tratamiento	Edad:Nivel fertilizante*	Nitrógeno	Potasio	Fósforo	Calcio	Magnesio	Azufre
T1	20:0	3,6 ± 2,5	3,2 ± 2,2	0,4 ± 0,3	2,1 ± 1,4	0,8 ± 0,6	0,3 ± 0,2
T2	20:100	2,6 ± 1,1	2,2 ± 0,9	0,3 ± 0,1	1,6 ± 0,7	0,6 ± 0,2	0,2 ± 0,1
T3	20:200	7,4 ± 6,7	5,7 ± 5,1	0,8 ± 0,7	4,2 ± 3,7	1,7 ± 1,5	0,5 ± 0,4
T4	40:0	6,6 ± 3,9	6,7 ± 3,9	1,1 ± 0,6	6,6 ± 3,9	2,1 ± 1,3	0,5 ± 0,3
T5	40:100	12,6 ± 7,4	13,0 ± 7,6	1,6 ± 1,0	10,2 ± 6,0	2,1 ± 1,3	0,5 ± 0,3
T6	40:200	27,3 ± 21,0	22,8 ± 17,6	3,0 ± 2,3	20,0 ± 15,4	7,1 ± 5,5	1,7 ± 1,3
T7	60:0	39,5 ± 28,8	35,7 ± 26,0	5,2 ± 3,8	42,5 ± 31,0	14,3 ± 10,5	3,1 ± 2,3
T8	60:100	44,4 ± 30,3	37,6 ± 25,7	5,1 ± 3,4	47,4 ± 32,6	16,8 ± 11,5	3,4 ± 2,3
T9	60:200	45,6 ± 33,4	37,3 ± 27,3	5,5 ± 4,0	55,1 ± 40,3	18,0 ± 13,2	3,7 ± 2,7

*Edad de corte (días), Nivel de fertilización (kg N/ha/año)

La extracción de calcio por corte fue mayor en T6 (67%) y T5 (35%) con respecto a T4, de igual forma, T9 (23%) y T8 (10%) con respecto a T7 reflejando un aumento según las dosis de fertilización en ambas edades. La extracción anual se encuentra en un rango de 60 a 182 kg Ca/ha a 40 días y 259 a 336 kg Ca/ha a 60 días, valores similares a los 229 y 429 kg Ca a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente (Cerdas-Ramírez, 2018). De igual manera, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 116,4 kg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 249,9 y 283,8 kg respectivamente, mostrando que la planta tiene gran potencial de extracción de Ca.

En la actual investigación las extracciones anuales se encuentran en un rango de 19 a 65 kg Mg/ha a 40 días y de 87 a 110 kg Mg/ha a 60 días. Lo anterior es similar a lo reportado por Cerdas-Ramírez (2018) de 66,6 y 125,8 kg de Mg a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente. Al igual, Botero-Londoño et al. (2019) menciona extracciones de 31,0 kg de Mg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 84,8 y 96,9 kg de Mg, respectivamente.

El manganeso presentó unas extracciones anuales de 550 a 1738 g/ha a 40 días y de 2.657 a 3.248 g/ha a 60 días, valores similares a los mencionados por Botero-Londoño et al. (2019) de 600 g Mn a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 1490 y 1710 g de Mn, respectivamente. En esta misma investigación Botero-Londoño y compañía señala extracciones de zinc de 590 a 1.640 g/ha, lo cual es superior al rango de 250 a 448 g/ha a 40 días y 628 g/ha a los 60 días reportados en la actual investigación. En cuanto al cobre y el boro, los expresados en el Cuadro 4 se presentan en niveles de extracción menores a los reportado por Botero y colaboradores. Es importante recalcar la escasa información de la extracción de micronutrientes en este forraje.

Cuadro 4. Extracción de micronutrientes (g/corte/ha) del botón de oro a diferentes edades y niveles de fertilización nitrogenada.

Tratamiento	Edad:Nivel fertilizante*	Manganeso	Hierro	Zinc	Boro	Cobre
T1	20:0	24,6 ± 16,8	23,3 ± 15,8	7,4 ± 5,0	4,7 ± 3,2	1,9 ± 1,3
T2	20:100	14,5 ± 6,1	13,4 ± 5,7	4,1 ± 1,8	3,1 ± 1,3	1,2 ± 0,5
T3	20:200	42,5 ± 38,0	34,9 ± 31,2	12,6 ± 11,2	8,1 ± 7,2	3,2 ± 2,9
T4	40:0	60,4 ± 35,5	54,2 ± 31,9	20,5 ± 12,1	12,9 ± 7,6	3,5 ± 2,1
T5	40:100	96,1 ± 56,2	78,8 ± 46,1	27,5 ± 16,1	21,6 ± 12,6	4,9 ± 2,8
T6	40:200	191,4 ± 147,3	147,5 ± 113,5	49,2 ± 37,8	35,6 ± 27,4	10,5 ± 8,1
T7	60:0	292,2 ± 213,1	444,8 ± 324,3	102,9 ± 75,1	71,7 ± 52,3	18,4 ± 13,4
T8	60:100	298,6 ± 203,6	538,8 ± 367,1	94,6 ± 64,5	73,6 ± 50,2	21,0 ± 14,3
T9	60:200	357,5 ± 261,7	504,5 ± 369,3	103,1 ± 75,5	68,0 ± 49,8	21,9 ± 16,1

*Edad de corte (días), Nivel de fertilización (kg N/ha/año)

CONSIDERACIONES FINALES

Los niveles de extracción de nutrientes del botón de oro en la actual investigación son similares a los reportados en el país, sin embargo, difieren con otros autores de otras latitudes de países tropicales, por lo tanto, es importante valorar la diversidad de ecotipos del cultivo al momento de realizar recomendaciones de fertilizaciones.

La exportación de nutrimentos del botón de oro evidenció la afinidad hacia N, K y Ca en lo que se refiere a macronutrimentos y al Mn respecto a los micronutrimentos. A partir de esta información generada se evidencia la necesidad de contar con un plan de fertilización específico para dicho forraje, el cual parece no adaptarse las características de extracción de gramíneas y leguminosas, las cuales han sido más estudiadas.

LITERATURA CITADA

- Arronis-Díaz, V. (2015). Validación de la utilización del forraje botón de oro (*Tithonia diversifolia*), en sistemas intensivos de producción de carne en la Región Brunca. Costa Rica, s.e.
- Aye, P. (2016). Comparative nutritive value of *Moringa oleifera*, *Tithonia diversifolia* and *Gmelina arborea* leaf meals (en línea). *American Journal of Food and Nutrition* 6(1):23-32.
- Bertsch, F. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1a ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., Marzari, R., José, M. y Gorriz, G. (2017). Principios generales El sistema suelo-planta (en línea). 1a ed. Argentina, UniRío Editora. 323 p.
- Botero-Londoño, J., Gómez-Carabali, A. y Botero-Londoño, M. (2019). Nutrient absorption in *Tithonia diversifolia*. *Universitas Scientiarum* 24(1):33-48.
- Cerdas-Ramírez, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Intersedes* 19(39):172-187.

- Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), y Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2016). Mapa digital de Suelos de Costa Rica. Disponible en: <http://www.snitcr.go.cr/Visor/index?k=Y2FwYTo6SU5UQStTVUVMT1M6OkIOVEEtTUFHX29yZGVuXzUw>
- Fassbender, H. (1975). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 1 ed. Turrialba, Costa Rica, IICA. 309 p.
- González-Castillo, J., Hahn von-Hessberg, C. y Narváez-Solarte, W. (2014). Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Astreaceae) en la alimentación animal. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*. 18(2):45-58.
- Henríquez, C., Bertsch, F. y Cabarceta, G. (1990). Efecto de la variación del Potasio disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- Hunter, A. (1975). Nuevas técnicas y equipo para análisis de suelos de rutina, pp. 467-483. In: E. Bornemisza y A. Alvarado (eds). Manejo de Suelos de América Tropical. North Carolina State University
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2019). Historial de variables climatológicas 1998-2014 para la región de Jacó. Consulta vía correo electrónico.
- La, O., González, H., Orozco, A., Castillo, Y., Ruiz, O., Estrada, A., Ríos, F. y Gutiérrez, E. (2012). Composición química, degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42(1):47-54.
- Medina, MG., García, DE., González, ME. y Cova, LJ. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical* 27(2):121-134.
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L. y Angulo-Arizala, J. (2016). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. (en línea). *Agron. Mesoam.* 28(1):289.
- Méndez, Y., Suárez, FO., Verdecia, DM., Herrera, RS., Labrada, JA., Murillo, B. y Ramírez, JL. (2018). Caracterización bromatológica del follaje de *Moringa oleifera* en diferentes estadios de desarrollo (en línea). *Cuban Journal of Agricultural Science* 52(3):1-11.

- Olabode, O., Ogunyemi, S., Akanbi, W., Adesina, G. y Babajide, P. (2007). Evaluation of *Tithonia diversifolia*(Hemsl) A Gray for Soil Improvement (en línea). *World Journal of Agricultural Sciences* 3(4):503-507.
- Palma-López, DJ., García, SS., Olán, JJO., Narcía, AT., Espinoza, LDCL., Cruz, JZ., Bello, AR y Martel, M. (2002). Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (Sirdf). *Terra20*(1):347-358.
- Pérez, A., Montejo, I., Iglecias, J., López, O., Martin, D., García, D., Milian, I. y Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A . Gray. *Pastos y Forrajes* 32(1):1-5.
- Reis, MM., Santos, LDT., Pegoraro, RF., Colen, F., Rocha, LM. y Ferreira, GA. (2016). Nutrition of *Tithonia diversifolia*and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system (en línea). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(11):1008-1013.
- Rivera, GA. (2008). Curvas de absorción de nutrimentos durante el establecimiento de potreros: Absorción total de nutrimentos y efecto de las excretas, durante el Pastoreo Rotacional con Ganado Lechero, en los pastos Kikuyo (*Kikuyochloa clandestinum*), Estrella Africana (*Cynodon nlenfuensis*). Tesis MSc. Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 89 p.
- Rojas-Bourrillon, A. y Campos-Granados, C. (2015). Hacia sistemas más intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación. *UTN informa*74(1):14-21.
- Savón, L., Mora, LM., Dihigo, LE., Rodríguez, V., Scull, I. y Hernández, Y. (2008). Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba (en línea). *Zootecnia Tropical* 26(3):387-390.
- Taiz, L., Zeiger, E., Max-Moller, I. y Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6ta ed. California, Sinauer Associates. 354 p.
- Verdecia, DM., Ramírez, JL., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F., y López, S. (2011). Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto (en línea). *REDVET*. 12(5):1-13.