

REVISTA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICOS

VOLUMEN 11 NÚMERO 1 AÑO 2020

EDITORIAL

Debido a la problemática del conflicto armado y cultivos ilícitos en Colombia, las comunidades, familias y organizaciones afectadas han venido desarrollando proyectos en coordinación con entidades públicas y privadas, en los cuales el principal objetivo ha sido la inclusión social e integración territorial, a través de programas que han logrado implementarse en distintas zonas del país. En la actualidad en Colombia cuenta con más de 600 organizaciones de productores que han sido creadas y fortalecidas con los estos programas de desarrollo productivo, en cultivos como cacao, café, palma, caucho, piscicultura, frutales, los cuales han sido fundamentales en la sostenibilidad de proyectos empresariales que les permiten a las comunidades aprovechar su capital para ser rentables y ofrecer productos competitivos, de gran demanda ante los mercados nacionales e internacionales. Es así, que el cacao (*Theobroma cacao*) requiere para su cultivo ideal, zonas de climas cálidos y húmedos, como los que existen en la zona tropical de Colombia. Este árbol produce frutos en forma de bayas alargadas, que con un buen proceso de fermentación obtienen excelentes características organolépticas en lo referente al sabor y su aroma, por esta característica, los granos de cacao, tienen la capacidad de ser una excelente materia prima, que son la base para la preparación de derivados, los cuales son utilizados y transformados en industrias de alimentos y farmacéutica, siendo estos productos de gran aceptación en el mercado. Con ventajas que ofrece el cultivo de cacao, los productores pueden ser empresarios generando empleo de manera directa e indirecta; pues se calcula que en la fase de manejo y sostenimiento por cada tres hectáreas de cacao se genera un trabajo rural permanente. Por ello se considera que este cultivo ha dinamizador la economía en zonas vulnerables.

Estos proyectos en los que se produce cacao, han contribuido no solo mejorar las condiciones de vida de las familias, sino que además en algunos casos los beneficiarios han recibido ayudas en temas como seguridad alimentaria, saneamiento básico, apoyo y soporte a las organizaciones campesinas mediante la capacitación y acompañamiento, especialmente en el tema asociativo, contable y de comercialización. También se ha brindado cursos técnicos de manejo del cultivo y su aprovechamiento agroindustrial para la elaboración de derivados, a los agricultores de las zonas cacaoteras del país, con la finalidad de darle sostenibilidad a estos proyectos empresariales, en diferentes zonas han logrado incrementar los ingresos de muchas familias rurales que hoy viven principalmente del cultivo del cacao.

Z. MSc. Esp. MARÍA LIGIA ROA VEGA

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS GRUPO DE INVESTIGACION DE AGROFORESTERIA
TEL: +57(8)661 68 00 EXT.: 201 Y166, agroforesteria@unillanos.edu.co

Determinación de condiciones ambientales para la conservación de granos de cacao (*Theobroma cacao L*) deshidratado durante el almacenamiento

Determination of environmental conditions for the conservation of dehydrated cocoa beans (*Theobroma cacao L*) during storage

Determinação de condições ambientais para a conservação de grãos de cacau desidratados (*Theobroma cacao L*) durante o armazenamento

Saza Coaji José Nicolás¹ y Jiménez Forero Javier Alexander ²

¹Ingeniero Agroindustrial Universidad de los Llanos y

²Ingeniero de Producción Agroindustrial, Docente Universidad de los Llanos

jjimenez@unillanos.edu.co

Recibido 26 septiembre 2019, Aceptado 12 de marzo 2020

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los cultivos representativos del departamento del Meta (Colombia), cuyos granos son aprovechados en la industria chocolatera. El almacenamiento es un punto de control ya que en él pueden presentarse fenómenos de deterioro que afectan su calidad. Durante este ocurren variaciones de temperatura y humedad relativa que provocan pérdidas en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de los granos a causa de su capacidad higroscópica, facilitando el crecimiento de hongos. Por tanto, en este trabajo se pretendió determinar condiciones de temperatura y humedad relativa con el fin de buscar prolongar la vida útil de granos de cacao deshidratado durante su periodo de almacenamiento. Para ello se construyeron isotermas de adsorción a temperaturas de 25, 30 y 35 °C para el rango de α_w entre 0.146 y 0.891. Donde se obtuvieron isotermas de tipo II por tener forma de "S" o por ser tipo sigmoidea. Estas se ajustaron a modelos matemáticos comúnmente aplicados en alimentos. El ajuste de los modelos se evaluó con aquel que presentara una raíz del error cuadrado medio (RMSE) más aceptable y un coeficiente de correlación (R^2) cercano a 1. En función de los cuales, se observó que el modelo propuesto por Smith presentó el mejor ajuste de los datos experimentales. Los resultados obtenidos permitieron

proponer que a condiciones de humedad relativa superior al 51.4% e igual y/o inferior al 58.9% y a temperatura de 25°C, se prolongaría la vida útil de los granos de cacao deshidratados manteniendo estándares de calidad durante el proceso de almacenamiento.

Palabras clave: Isotermas de adsorción, humedad relativa, temperatura, cacao clon FEAR-5.

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao L.*) is one of the representative crops of the department of Meta (Colombia), whose grains are used in the chocolate industry. Storage is a point of control since deterioration phenomena can occur that affect its quality. During this period, variations in temperature and relative humidity occur, causing losses in the physicochemical and organoleptic properties of the grains due to their hygroscopic capacity, facilitating the growth of fungi. Therefore, in this work it was tried to determine conditions of temperature and relative humidity in order to seek to prolong the useful life of dehydrated cocoa beans during their storage period. To do this, adsorption isotherms were constructed at temperatures of 25, 30 and 35°C for the range of α_w between 0.146 and 0.891. Where type II isotherms were obtained by having an "S" shape or by being a sigmoid type. These were adjusted to mathematical models commonly applied in food. The fit of the models was evaluated with that which present a more acceptable mean square error root (RMSE) and a correlation coefficient (R²) close to 1. Based on which, it was observed that the model proposed by Smith presented the best fit of the experimental data. The results obtained allowed us to propose that at conditions of relative humidity greater than 51.4% and equal to or lower than 58.9% and at a temperature of 25°C, the shelf life of dehydrated cocoa beans would be maintained maintaining quality standards during the storage process.

Keywords: Sorption isotherms, water activity, mathematical models, relative humidity, temperature, cocoa FEAR-5 clone.

RESUMO

Cacau (*Theobroma cacao L.*) é uma das culturas representativas do departamento de Meta (Colômbia), cujos grãos são utilizados na indústria de chocolate. O armazenamento é um ponto de controle, pois pode apresentar fenômenos de deterioração que afetam sua qualidade. Durante isso, ocorrem variações de temperatura e umidade relativa, causando perdas nas propriedades físico-químicas e organolépticas dos grãos devido à sua capacidade higroscópica, facilitando o crescimento de fungos. Portanto, este trabalho teve como objetivo determinar as condições de temperatura e umidade relativa, buscando prolongar a vida útil dos grãos de cacau desidratados durante o período de armazenamento. Para isso, foram construídas isotermas de adsorção nas temperaturas de 25, 30 e 35°C para a faixa de α_w entre 0,146 e 0,891. Onde as isotermas do tipo II foram obtidas por ter a forma de “S” ou por ser do tipo sigmóide. Estes foram ajustados a modelos matemáticos comumente aplicados em alimentos. O ajuste dos modelos foi avaliado com o que apresentou o erro quadrático médio (RMSE) mais aceitável e um coeficiente de correlação (R^2) próximo a 1. Com base nisso, observou-se que o modelo proposto por Smith apresentava a melhor ajuste dos dados experimentais. Os resultados obtidos permitiram propor que, em condições de umidade relativa superior a 51,4% e igual e/ou inferior a 58,9% e a uma temperatura de 25°C, a vida útil dos grãos de cacau desidratados seria prolongada, mantendo padrões de qualidade durante o processo de armazenamento.

Palavras-chave: Isotermas de adsorção, umidade relativa, temperatura, clone de cacau FEAR-5.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un árbol nativo de Suramérica de las cuencas del Orinoco y Amazonas, el 70.7 % de la producción mundial de cacao se realiza Costa de Marfil, Ghana e Indonesia; el 20 % es producido por Brasil, Nigeria, Camerún y Ecuador, ocupando Colombia el puesto 11 con el 1.2 % de la producción mundial. Colombia tiene una posición geográfica estratégica en su condición de país tropical, beneficiándose con luminosidad permanente y recursos hídricos durante todo el año. Además, se cuenta definido material genético para su utilización de acuerdo a

las diferentes zonas agroecológicas del país (Procolombia, 2015). Actualmente en el país las siembras de cacao se están llevando a cabo con materiales conocidos como clones, que corresponden a la combinación de cacao criollo y trinitario realizado por programas de investigación. Dichos clones son altamente resistentes a enfermedades y poseen gran potencial para la producción de cacao fino y de aroma, siendo estos criterios demandados por las industrias chocolateras para satisfacer finalmente al consumidor final (Escobar y Rojas 2001).

Es importante mantener las características organolépticas (color, aroma, sabor) en el grano de cacao, para lo cual se debe realizar un óptimo proceso de poscosecha (fermentación, secado, limpieza, selección, clasificación, empaque y almacenamiento) (Cubillos *et al.*, 2008), con lo cual se podrá obtener un producto de calidad. Sin embargo, se presentan problemas relevantes en las características físicas y organolépticas de los granos de cacao que llegan a incidir en la calidad del producto final. Tales inconvenientes se originan por causales como malas prácticas agrícolas, diversidad de variedades en un mismo cultivo y al manejo inadecuado de poscosecha y con el tiempo el cacao presenta reacciones de deterioro, tales como oxidación de lípidos, degradación de vitaminas, pigmentos y cambios enzimáticos que en gran medida dependen del contenido de humedad y la actividad de agua del producto (Gálvez *et al.*, 2006). La actividad de agua (α_w) de un producto es uno de los factores más importantes en la conservación de los alimentos. La posibilidad de que se lleven a cabo diferentes tipos de reacciones químicas, bioquímicas y de crecimiento de microorganismos que puedan afectar la estabilidad del alimento, depende de la actividad de agua. Por tanto, es importante el conocimiento de la relación de la actividad de agua y el contenido de humedad de equilibrio (CHE) de los materiales alimenticios para predecir los cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas que ocurren durante la transformación y almacenamiento. Esta relación entre la α_w y el CHE a una temperatura constante es denominada isoterma de adsorción, que hace referencia a procesos de adsorción (hidratación o rehidratación) o de desorción (deshidratación) (Zhang *et al.*, 1996).

La isoterma de adsorción tiene aplicaciones en el análisis y en el diseño de varios procesos como el secado, el mezclado y el envasado de alimentos. Además, sirve para determinar condiciones óptimas de almacenamiento, predicción de vida útil y selección del material de empaque adecuado. La importancia de la determinación de una isoterma de adsorción radica en situaciones como predecir la estabilidad química y física de los alimentos en función del contenido de humedad, observar su influencia en el ambiente sobre el contenido de agua de un alimento envasado, evaluar el tiempo de deshidratación o de hidratación de un producto, entre otros. Pero para correlacionar el contenido de humedad de equilibrio con la actividad de agua de un alimento, existen varias ecuaciones empíricas y semi-empíricas propuestas donde son usadas para realizar el mejor ajuste de correlación. Teniendo un amplio uso en alimentos al tratar sobre sus propiedades físicas (Moreira *et al.*, 2008).

Cabe mencionar que el almacenamiento de los granos de cacao deshidratado es un punto crítico de control ya que en él pueden ocurrir fenómenos de deterioro que afectan su calidad. Durante éste se presentan variaciones de temperatura y humedad relativa que inducen al grano a absorber humedad (capacidad higroscópica) superando el 7 u 8 %, facilitando la proliferación de hongos y con ello pérdidas en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas. Por tanto, el tiempo máximo de almacenamiento es de dos meses aproximadamente. Una vez transcurrido este período, los granos empiezan a deteriorarse y como consecuencia posterior, los agricultores se ven afectados en el precio final de venta a las industrias chocolateras al momento de comercializar su producto (Cubillos *et al.*, 2008).

El proceso de beneficio debe acatar los principios básicos para la conservación de los alimentos y para el caso del cacao, este comprende las operaciones de cosecha, quiebra, fermentación, secado, limpieza y selección, clasificación, empaque y almacenamiento, con la finalidad de obtener un grano de alta calidad. La cosecha se realiza cuando se observa en la mazorca cambios de pigmentación: de verde pasa al amarillo o al rojo y otros similares pasan al amarillo anaranjado. Lo que se considera que el mismo se encuentra en estado óptimo de madurez. En los períodos

“picos” de cosecha, la recolección se debe realizar semanalmente. En cambio, las temporadas de menor producción se realizan cada dos o tres semanas (Murrieta y Palma, 2018).

Para no obtener resultados desfavorables en cuanto a la calidad de los granos, se recomienda no recolectar frutos verdes o verde amarillentos debido a que sus granos aún están duros y su mucílago no se ha terminado de formar. Lo que ocasionaría una deficiencia en el proceso de fermentación dado a que no se desarrollarían efectivamente cambios en propiedades fisicoquímicas y organolépticas del grano. También, el no dejar sobremadurar las mazorcas ya que propiciaría la germinación de los granos, corriendo el riesgo de que proliferen hongos (fungos) y con ello, la formación de enfermedades. Otro aspecto importante es la quiebra que consiste en partir la mazorca por la mitad, para luego con ayuda de los dedos, retirar los granos dejando únicamente la placenta incrustada a la mazorca. Posteriormente, se eliminan pedazos de corteza, hojas, mezclados con los granos y estos deben fermentarse antes de 24 horas (FCC, 2015).

La fermentación es el proceso que realiza cambios bioquímicos en el interior de los granos de cacao y con ayuda de microorganismos, permite el desarrollo de propiedades organolépticas del grano (sabor y aroma). La fermentación consiste básicamente en juntar los granos durante 5 a 7 días para descomponer el mucílago (pulpa blanca que envuelve a los granos), causar la muerte del embrión e iniciar la formación de los compuestos precursores del sabor a chocolate (Cardona 2016).

Los microorganismos (levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias ácido acéticas), que favorecen el proceso de fermentación, inician en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno) y finalizan en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), formando alcohol, ácido láctico y ácido acético que permeabilizan la membrana que cubre los granos y son participes en la muerte del embrión, propician la disolución y difusión de alcaloides (teobromina y cafeína), y pigmentos (antocianinas) que son responsables de la formación del sabor amargo en el producto terminado (Schwan y Wheals, 2004).

Después de la fermentación, los granos de cacao se deben deshidratar para reducir la humedad al 7-8 % y continuar con reacciones bioquímicas faltantes que finalmente producirán los precursores del sabor. Si este porcentaje de humedad llegase a estar por encima de este rango, los granos son susceptibles a enmohecerse (presencia de hongos), causando deterioro en su calidad. De igual forma, el porcentaje de humedad no debe estar por debajo de este rango puesto que granos serían frágiles y quebradizos, lo que ocasionaría rechazo por no cumplir con criterios de calidad. También se puede realizar el secado natural, sobre plataforma de madera, expuestas a la luz del sol durante 3 a 9 días). Se recomienda para el primer día del proceso, voltear los granos a una baja frecuencia y en los días posteriores, aumentarla. La mejor señal de que este proceso ha culminado, es tomar un puñado de granos en horas de la mañana y sentir el crujido al apretarlos. Adicionalmente, en el interior de los granos se observa una estructura arrugada de color pardo (De la Cruz *et al*, 2009).

La temperatura del aire caliente no debe ser mayor a 60°C, de lo contrario, puede provocar la inactividad de las reacciones enzimáticas, siendo tales reacciones una de las piezas claves para el desarrollo de precursores del sabor y aroma del chocolate. Adicionalmente, se van formando granos frágiles y quebradizos. Cuando se utiliza secadores, es importante mantener una temperatura de 55 a 60°C y así mismo, el tiempo de secado requiere entre 30 a 34 horas (Rahman 2009).

Después del secado, se someten los granos de cacao deshidratados a una minuciosa limpieza y selección, utilizando tamices y ventiladores, los granos se separan por calidad siendo los mejores los que pesan más de un gramo. Luego de este proceso los granos, se empacan en sacos de fique o yute que estén en perfecto estado, siendo su peso neto de 62.5 kg o sea 16 sacos equivalen a una tonelada métrica. Para su almacenamiento los sacos con los granos se colocan sobre estibas de madera para evitar contacto con el suelo y las paredes. Cada saco debe brindar información del lote como: el productor, tipo de cacao, proceso de fermentación, secado y empaque, con el objetivo de mantener la trazabilidad en los procesos de

certificación y calidad. El tiempo de almacenamiento es máximo a dos meses antes de que inicie su proceso de deterioro (Tinoco y Ospina 2010).

Para satisfacer las necesidades del comprador, los granos de cacao deshidratados deben cumplir con criterios de calidad, lo que implica un adecuado fermentado y deshidratado (7 a 8 % de humedad), libre de olores y de cuerpos extraños y el peso de cada grano no debe ser inferior a 1 gramo. En Colombia la calidad del grano de cacao se rige por la Norma Técnica Colombiana 1252 del ICONTEC 2003, donde se especifican los criterios de calidad de acuerdo con los estándares internacionales. También se especifican los parámetros físicos y químicos aceptados (humedad, grasa y pH), el índice de grano que permite determinar su peso promedio, el índice de mazorca o número de mazorcas que se necesitan para obtener 1 kg de cacao deshidratado (INCONTEC, 2003).

La actividad de agua (α_w) es la herramienta más usada para relacionar las propiedades de un alimento y el contenido de agua, puesto que este factor influye en cambios enzimáticos, reacciones de oxidación de lípidos, degradación de pigmentos y vitaminas, siendo una propiedad intrínseca que se relaciona con el contenido de humedad a través de las isothermas de adsorción y de sorción. El valor de la actividad de agua refleja la cantidad de agua disponible metabólicamente para que un microorganismo se desarrolle en un alimento (Vega y Lara 2006).

Según Labuza *et al.*, (1976), la actividad acuosa se define como la razón de la presión parcial de vapor del agua (P_w) de un alimento sobre la presión de vapor del agua pura (P_o) a una temperatura dada expresándose entre 0 y 1. Donde el alimento más estable a cambios que ocurren como consecuencia del almacenamiento es aquel con el valor de actividad acuosa más bajo. La definición de α_w (Ecuación 1) tiene su fundamento en el equilibrio asumido entre el alimento y su entorno gas, por el cual sus valores deben ser iguales en ambas fases a temperatura (T) y presión (P).

$$\text{Ecuación 1: } \alpha_w = \frac{P_w}{P^{\circ}_w} = \frac{HRE}{100}$$

Donde:

P_w = presión de vapor del agua en equilibrio con el alimento
 P°_w = presión de vapor de agua pura a la misma temperatura
HRE = humedad relativa en equilibrio

La isoterma de sorción se define como la relación entre la actividad de agua y el contenido de humedad de un material en equilibrio a temperatura constante. La cual se obtiene cuando el proceso de equilibrio inicia a partir de una muestra húmeda o seca, permitiendo equilibrarse con la humedad relativa de la atmósfera que la rodea, y finalmente la muestra gana o pierde humedad. Reflejando así, la forma como el agua se liga al sistema (Sajad y Pradyuman, 2016).

Este trabajo se pretende determinar las condiciones de temperatura y humedad relativa con el fin de buscar prolongar la vida útil de granos de cacao deshidratado durante su periodo de almacenamiento a través de la construcción de las isotermas desorción a diferentes condiciones de almacenamiento mencionadas (temperatura y humedad relativa), para conocer el contenido de humedad de equilibrio del grano rehidratado, determinar su variación de actividad de agua. Esto con el fin de disminuir la velocidad de deterioro y formular alternativas para prolongar la vida útil del grano de cacao deshidratado durante el periodo de almacenamiento, manteniendo estándares de calidad en cualquier época del año y ofrecer al agricultor la oportunidad de acceder a un mejor precio en el mercado nacional e internacional.

METODOLOGÍA

Secuencia Experimental

La secuencia experimental para la determinación de condiciones de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de granos de cacao deshidratado mediante la técnica gravimétrica realizada por método estático (Figura 1), siendo las de uso más frecuente cuando se trata de construir la isoterma de un determinado producto (Staudt *et al.*, 2013).

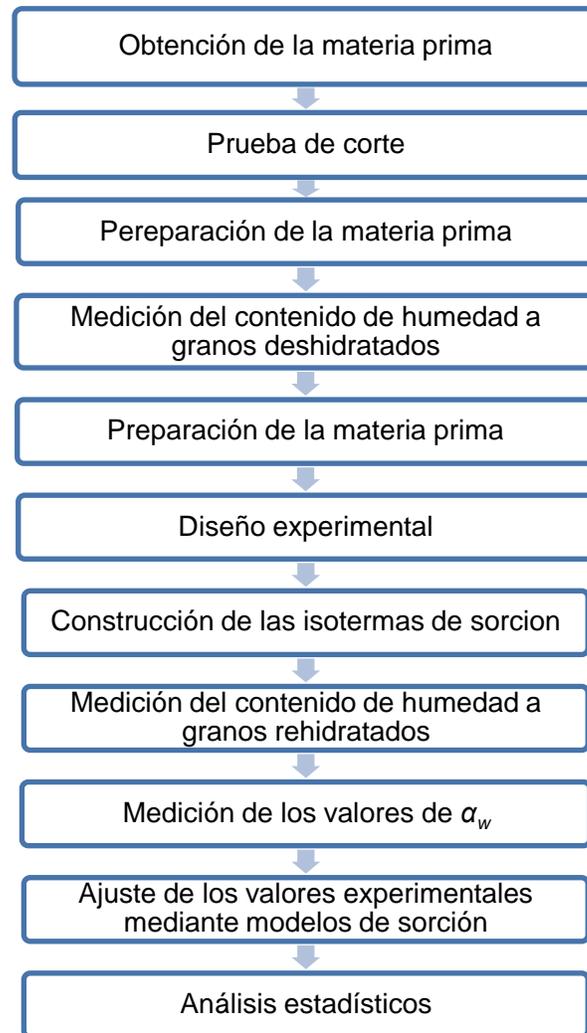


Figura 1. Secuencia experimental según Staudt *et al.*, (2013)

Preparación materia prima utilizada

Este experimento se realizó en el Laboratorio de Bioprocesos del Programa de Ingeniería Agroindustrial situado en la Universidad de los Llanos, vereda Barcelona en Villavicencio-Meta. Se obtuvo 1 kg de granos de cacao fermentados (clon FEAR 5) provenientes de una finca ubicada en el municipio de Guamal-Meta. A este material se le identificaron las características físico-organolépticas de un óptimo grano fermentado: color pardo rojizo (externo), muerte del embrión, hinchazón y olor característico de la fermentación (agradable) (Leon-Roque *et al.*, 2016). Además, se tomó una muestra para realizar la prueba de corte. Con el propósito de verificar

la calidad del grano de cacao fermentado para la ejecución del experimento. Los granos fermentados fueron transportados en cabinas de poliestireno expandido (EPS) refrigeradas a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ para evitar actividades biológicas y microbiológicas indeseadas.

Se tomaron cinco granos de la materia prima para realizar en cada uno un corte longitudinal con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable previamente limpio y desinfectado con hipoclorito de sodio (2 ppm). Finalmente, por observación directa se buscó en el interior de los granos una coloración pardo rojiza con escurrimiento de líquido color vino tinto (Peláez *et al.*, 2016). La materia prima se secó en horno marca Oven modelo ON-01E con recirculación de aire a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ por un tiempo de 34 a 40 horas, hasta alcanzar una humedad de $7.5 \pm 0.5\%$ (Valadez *et al.*, 2017).

Determinación del contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad en el grano deshidratado se empleó el método de A.O.A.C. N° 931.04 (2000). Consiste en colocar una caja Petri (9 cm de diámetro) junto con la tapa durante 2 horas en el horno marca Oven modelo ON-01E con recirculación de aire a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta secarse completamente. Posteriormente, con la ayuda de pinzas será trasladada (tapada) a un recipiente hermético durante 40 minutos (permitiendo enfriarse) y se pesará en la balanza de precisión marca Kern (m1). Luego se pesarán 5 g de granos fermentados (m2) previamente homogeneizados en la caja Petri y junto con la tapa se introducirá en el horno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por un tiempo de 6 horas. Trascurrido el tiempo, la caja Petri se tapará para ser transferida al recipiente hermético durante 40 minutos permitiendo enfriarse a temperatura ambiente y por último registrar su peso (m3). Las muestras se procesarán por triplicado para la temperatura de secado. El contenido de humedad en la muestra se calcula por diferencia de peso (ecuación 2).

$$\text{Ecuación 2: } \% \text{Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Siendo:

m1: Masa de la caja Petri tapada (g)

m2: Masa de la caja Petri tapada con la muestra antes del secado (g)

m3: Masa de la caja Petri tapada más la muestra deshidratada (g)

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado para la obtención de los datos experimentales, en el cual se consideran los siguientes factores: actividad de agua a 7 niveles (0.146, 0.383, 0.514, 0.589, 0.771, 0.823 y 0.891) y temperaturas a 3 niveles (25, 30 y 35°C). A los datos obtenidos se les aplicará un análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 95% empleando el programa estadístico IBM SPSS Statistics 23.

Construcción de las isotermas de sorción

De acuerdo al promedio de temperaturas predominantes durante el almacenamiento de cacao deshidratado, las isotermas de sorción se determinaron a tres temperaturas de trabajo (25, 30 y 35°C). Para ello, se colocaron 2 g de muestra (grano deshidratado) sobre un trípode de acrílico y se introdujeron en recipientes cerrados herméticamente (Figura 2) que contienen soluciones de sal saturadas: Cloruro de Litio (LiCl), Cloruro de Magnesio (MgCl₂), Carbonato de Potasio (K₂CO₃), Nitrato de Magnesio (Mg(NO₃)₂), Cloruro de Sodio (NaCl), Cloruro de Potasio (KCl) y Cloruro de Bario (BaCl₂). Estas fueron preparadas de acuerdo a lo descrito por Spiess, W. y Wolf, W (Tabla 1). Las cuales cubren un rango de actividad acuosa entre 0.146 y 0.891 (Tabla 2) (Rahman, 2008). Posteriormente, los recipientes se llevaron a las temperaturas de trabajo hasta garantizar el equilibrio en el medio. Las muestras se procesaron por triplicado para cada temperatura y para cada solución saturada (Wani y Kumar, 2016). A los recipientes que contienen soluciones de NaCl, KCl y BaCl₂, se les incorporó 5 g de Timol contenida en un recipiente de plástico, con el fin de evitar el crecimiento microbiano dado a que el α_w de estas soluciones es superior a 0.75. Este se ubicó sobre el trípode para que no tuviese contacto directo con la solución salina (Muzaffar y Kumar, 2016).

Se utilizó el método gravimétrico estático para el estudio de sorción de granos de cacao deshidratado. El cual implica el uso de soluciones salinas saturadas para

mantener una humedad relativa en equilibrio a temperatura constante. Para ello, se colocaron aproximadamente 2 g de muestra (grano deshidratado con contenido de humedad de 7 a 8 %) en un recipiente de plástico sobre un trípode de material acrílico (por triplicado).



Figura 2. Construcción de isotermas de adsorción para granos de cacao

Tabla 1. Actividades de agua de soluciones de sal seleccionadas

Sales	Actividad de agua				α_w en Aqualab
	20°C	25°C	30°C	40°C	
Carbonato de Potasio	0.431	0.432	0.432	-	0.514
Cloruro de Bario	-	-	-	-	0.891
Cloruro de Litio	0.113	0.113	0.113	0.112	0.146
Cloruro de Magnesio	0.331	0.328	0.324	0.316	0.383
Cloruro de Potasio	0.851	0.843	0.836	0.823	0.823
Cloruro de Sodio	0.755	0.753	0.751	0.747	0.771
Nitrato de Magnesio	0.544	0.529	0.514	0.484	0.589

Fuente: Rahman, (2008).

Tabla 2. Preparación de soluciones de sal saturadas recomendadas a 25°C

Sal	Nomenclatura	Humedad relativa (%)	Sal (g)	Agua (ml)
Carbonato de Potasio	K_2CO_3	43.80	200	90
Cloruro de Bario	$BaCl_2$	90.26	250	70
Cloruro de Litio	$LiCl$	11.15	150	85
Cloruro de Magnesio	$MgCl_2$	32.73	200	25
Cloruro de Potasio	KCl	84.32	200	80
Cloruro de Sodio	$NaCl$	75.32	200	60
Nitrato de Magnesio	$Mg(NO_3)_2$	52.86	200	30

Fuente: Spiess y Wolf, (1987).

Contenido de humedad en grano rehidratado

El contenido de humedad de la muestra (grano rehidratado) en cada atmósfera se determinó por el método A.O.A.C. N° 931.04 (2000), las muestras se pesaron cada

dos días y fueron retiradas de los recipientes herméticos hasta evidenciar peso constante (Ecuación 3). Se tiene en cuenta el tiempo de pesaje (inferior a un minuto) para evitar cualquier efecto sobre los resultados. A partir de estos datos se determinó el tiempo al cual cada tratamiento en el grano alcanza su equilibrio de saturación de humedad y se realizaron cálculos de peso ganado de la muestra (Ecuación 4).

$$\text{Ecuación 3: } \%CHE = \frac{Pmche - Pms}{Pmche} \times 100$$

Siendo:

Pmche: Peso de la muestra cuando alcanzó el CHE

Pms: Peso de la muestra seca

CHE: Contenido de humedad de equilibrio del grano

$$\text{Ecuación 4: } \textit{Peso ganado} = \textit{Peso final} - \textit{Peso inicial}$$

Siendo:

Peso final: Masa de la muestra rehidratada

Peso inicial: Masa de la muestra deshidratada

Medición de la actividad de agua (α_w)

Se utilizó un equipo modelo Aquablapre para medir la actividad de agua en los granos rehidratados. La variación de la actividad de agua se determinó a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura. Los datos obtenidos junto a los datos de contenido de humedad en equilibrio, permitieron construir las curvas de sorción: % humedad (base seca) vs α_w (Muzaffar y Kumar, 2016).

Ajuste de los valores mediante modelos matemáticos de adsorción

Para determinar el mejor ajuste de los valores experimentales del contenido de humedad en equilibrio (CHE), se emplearon dos modelos matemáticos (Tabla 3), proporcionan buena correlación en la determinación de isothermas de sorción de diferentes productos y en la predicción de la actividad de agua en variados tipos de alimentos. Sus parámetros se calcularon mediante una regresión no lineal de mínimos cuadrados empleando el software R versión 3.6.1 y se seleccionó el modelo matemático que presente la raíz del error cuadrado medio (RMSE) más

aceptable (Ecuación 5) y un coeficiente de correlación lineal (R^2) cercano a 1 Ecuación 6) (Wani, y Kumar, 2016).

Tabla 3. Modelos matemáticos para el ajuste de las isotermas de sorción

$CHE = k_1 - k_2 * \log(1 - a_w)$
k_1 y k_2 : Parámetros del modelo que dependen del producto (Smith)
$CHE = K_1(a_w)^{n_1} + K_2(a_w)^{n_2}$
CHE= Contenido de humedad en equilibrio
n_1 n_2 : Constantes para el modelo
K_2 : Constante relacionada con el calor de adsorción de la multicapa
K_1 : Constante relacionada con el calor de adsorción de la multicapa (Peleg)

Fuente: Labuza,(1984).

$$\text{Ecuación 5: } RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (Mpi - Mei)^2}$$

$$\text{Ecuación 6: } R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2}$$

Siendo:

Me : contenido de humedad de equilibrio experimental.

Mp : contenido de humedad obtenido del modelo predictivo.

N = número de datos experimentales.

\hat{y}_i = contenido de humedad de equilibrio experimental.

y_i = contenido de humedad de equilibrio experimental.

\bar{Y} = Promedio del CHE obtenido del modelo predictivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la materia prima

A los granos de cacao fermentado (clon FEAR 5), se observó hinchazón, coloración pardo rojizo y muerte del embrión, además, se percibió un olor agradable característico de la fermentación. Posteriormente, se tomó una muestra de cinco granos para realizar la prueba de corte a cada uno, evidenciando en la estructura interna una coloración pardo rojiza con escurrimiento de líquido color vino tinto.

Di Mattia *et al.*, (2013) manifiestan que el proceso de fermentación en granos de cacao representa un paso clave para el desarrollo del aroma y sabor del chocolate.

Provocando la disminución de la solubilidad de polifenoles, reduciendo el amargor y la astringencia, dando lugar al color típico de los granos bien fermentados. Según Ramos, (2013) la fermentación es una acción combinada y balanceada de ácidos, alcoholes, humedad, pH y temperatura, conducente a la disminución del sabor amargo y la pérdida de teobromina. La fermentación facilita el proceso de secado y la separación de la testa o cáscara de los cotiledones.

Un óptimo grano de cacao fermentado presentará características como: aroma agradable, sabor ligeramente amargo, color marrón achocolatado en su cáscara y toma un aspecto inflado o hinchado debido a la humedad adquirida y se puede separar el cotiledón de la cáscara con suma facilidad. No obstante, cuando los granos no han sido correctamente fermentados presentan características como sabor amargo o astringente (muy pronunciado), aroma desagradable, el color de la testa es blanco, los granos no se hinchan y la cáscara se encuentra muy adherida al cotiledón (Parra, 2013).

Amoa-Awua, (2016) resalta que la prueba de corte es un procedimiento simple y de uso frecuente, basado en los cambios de color registrados durante la fermentación. Que consiste en cortar los granos a lo largo por la mitad y examinar su color interno utilizando una puntuación basada en granos morados y marrones. Sin embargo, este método no es totalmente cuantitativo y la evaluación del color es muy subjetiva. Cabe señalar que este procedimiento se realizó en tres distintas ocasiones para construir las isotermas de sorción a diferentes temperaturas (25, 30 y 35°C), tras observaciones a las superficies externas e internas de las muestras tomadas y a discusiones encontradas en estudios de varios autores mencionados, se concluye que la materia prima fue adecuadamente fermentada y en calidad era ideal para la ejecución del experimento.

Análisis de la humedad

Tras realizar la medición del contenido de humedad en granos deshidratados, se obtuvieron porcentajes entre 7 u 8 % de humedad, siendo este el rango permisible y un criterio de aceptación de calidad aceptable (Tabla 4). Una vez alcanzada la

humedad requerida en la muestra (granos de cacao deshidratados) para continuar con la construcción del montaje para las isotermas de sorción, se observaron cambios en las propiedades organolépticas y físicas en la muestra, siendo estos cambios notorios el color (granos de color pardo rojizo a color marrón), y el olor (se percibía el olor a chocolate).

Tabla 4. Porcentaje de humedad inicial para la construcción de isotermas de sorción por tres repeticiones (R) para cada temperatura.

Muestras para 25 °C	Muestras para 30 °C	Muestras para 35 °C
R1= 7,653	R 1= 7,228	R1= 7,287 %
R2= 7,564	R2= 7,500	R2= 7,441 %
R3= 7,362 %	R3= 7,347	R3= 7,742 %

Prabhakaranr, (2010) afirma que los granos después de la fermentación se deben secar para reducir su contenido de humedad en 60%, quedando, entre 6 y 8% y de esta manera prevenir la infestación de moho durante el almacenamiento, permitiendo también que algunos de los cambios químicos que ocurrieron durante la fermentación continúen y mejoren el desarrollo del sabor. Además Afoakwa, (2010) reporta que el proceso de secado inicia las principales reacciones de oxidación del polifenol catalizadas por la polifenol oxidasa, dando lugar a nuevos componentes de sabor y pérdida de integridad de la membrana, lo que induce la formación de color marrón. Esto ayuda a reducir la amargura, la astringencia y también el desarrollo del color marrón en los granos de cacao.

Para determinar si las variables siguieron una distribución normal, se ejecutó la prueba de test de normalidad (Tabla 5), estos valores de significancia fueron inferiores a 0.05 para todos los casos; por lo que se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa para cada una de las variables de medición establecidas.

La aplicación de la prueba de test de normalidad muestra adicionalmente dos gráficos: Histogramas y Normal Probability Plot. La curva normal demuestra que las no siguen una distribución normal. Cada valor observado se le empareja con su valor esperado, procedente éste último de una distribución normal. Si la muestra es extraída de una población normal, ambos valores se encontrarán en la misma línea

recta. Por tanto, si el gráfico muestra una relación cercana a una línea recta, entonces se “sugiere” que los datos proceden de una distribución normal.

Tabla 5. Resultados de pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Peso grano de cacao (g)	0,057	336	0,010	0,954	336	0,000
Ganancia de peso grano de cacao (g)	0,107	336	0,000	0,925	336	0,000
Contenido de Humedad de equilibrio del grano de cacao (%)	0,098	336	0,000	0,950	336	0,000
Actividad de agua	0,126	336	0,000	0,948	336	0,000

Si sig. (p-valor) > 0.05: se acepta la hipótesis nula (la variable sigue distribución normal).

Si sig. (p-valor) < 0.05: se rechaza la hipótesis nula (la variable no sigue distribución normal).

a. Corrección de significación de Lilliefors

El ajuste a la recta no se encuentra en la misma línea recta, por lo que se manifiesta que los datos para cada uno de los casos no siguen una distribución normal. Sin embargo, las interpretaciones de ambas gráficas resultan congruentes con la obtenida de los contrastes de Kolmogorov Smirnov Lilliefors y Shapiro Wilks. Adicionalmente, se realizó el análisis exploratorio de datos para estudiar con mayor precisión la forma y las características de la distribución de las variables de medición (CHE, peso de grano, peso ganado y α_w), donde se obtuvieron diferencias significativas en los valores del promedio y la mediana en cada una de las variables de medición. Por lo que se sugiere que las variables no siguen una distribución normal dado a que uno de los comportamientos de seguir es que los valores del promedio, mediana y media sean significativamente iguales. Por tanto, el promedio no representa a las variables de medición, caso contrario a la mediana, pues al notar que las variables a medir no tienen una distribución normal, este parámetro, si representa estas variables. Por lo anterior, no se realiza análisis de varianza, sino pruebas no paramétricas.

La prueba de Kruskal-Wallis permite decidir si puede aceptarse la hipótesis de que k muestras independientes proceden de la misma población o de poblaciones

idénticas con la misma mediana. Los resultados al realizar la prueba Kruskal-Wallis, muestran significancias inferiores a 0.05 para tres de las variables de medición lo cual permitió determinar que los tratamientos (soluciones salinas) influyeron significativamente en el CHE, peso ganado y α_w del grano.

Adicionalmente, se observó en la Tabla 6, que la variable de agrupación “número de grano” arrojó un valor de significancia de 0.837 (superior a 0.05), lo que indica que el número de granos no influyó en la variación del peso del grano. Motivo por el cual concluye que los granos son iguales.

Tabla 6. Prueba de Kruskal-Wallis a variables de medición establecidas

Peso del grano (g)		Peso ganado del grano (g)	
Chi-cuadrado	102.764	Chi-cuadrado	0.355
Gl	6	gl	2
Sig. asintótica	0.000	Sig. asintótica	0.837
a. Prueba de Kruskal-Wallis		a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: Sal utilizada		b. Variable de agrupación: Número del grano	
CHE del grano (%)		Actividad de agua α_w	
N	399	N	399
Mediana	0.0081800	Mediana	0.64800
Chi-cuadrado	179.069 ^b	Chi-cuadrado	202.077 ^b
Gl	6	gl	6
Sig. asintótica	0.000	Sig. asintótica	0.000
a. Variable de agrupación: Sal utilizada		a. Variable de agrupación: Sal utilizada	
b. 0 casillas (0.0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 28.4		b. 0 casillas (0.0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 28.3	

Como la prueba de Kruskal-Wallis no permite identificar cuales tratamientos influyen significativamente en estas variables, entonces para conocer cuáles de los siete tratamientos influyeron en las variables de medición, se realizaron comparaciones pareadas con la prueba de Mann Whitney y así poder determinar las temperaturas que influenciaron significativamente en el CHE, peso ganado y α_w del grano para cada tratamiento (Tablas 7, 8 y 9).

Tabla 7. Peso ganado del grano por temperatura para cada tratamiento (la significancia fue cero)

Tratamiento	Estadísticos Kruskal-Wallis χ^2	Temperatura °C	N	Mediana Peso ganado del grano
Cloruro de Litio	38.592	25	12	1.851 ^A
		30	24	1.745 ^B
		35	21	1.619 ^C
Cloruro de Magnesio	25.951	25	12	1.750 ^A
		30	24	1.786 ^B
		35	21	1.827 ^B
Carbonato de Potasio	33.760	25	12	1.508 ^A
		30	24	1.819 ^B
		35	21	1.697 ^C
Nitrato de Magnesio	40.428	25	12	1.828 ^A
		30	24	1.916 ^B
		35	21	1.677 ^C
Cloruro de Sodio	48.545	25	12	1.582 ^A
		30	24	1.990 ^B
		35	21	2.285 ^C
Cloruro de Potasio	48.438	25	12	1.598 ^A
		30	24	1.877 ^B
		35	21	1.721 ^C
Cloruro de Bario	16.475	25	12	1.780 ^A
		30	24	2.004 ^B
		35	21	1.900 ^B
General	81.660	25	84	1.675 ^A
		30	168	1.885 ^B
		35	147	1.756 ^C

*Comparación pareada entre temperaturas en el tratamiento prueba de Mann Whitney

*Medianas con letras distintas son estadísticamente diferentes

*El promedio no representa el peso ganado del grano, lo representa la mediana

La prueba de Kruskal-Wallis para el peso ganado del grano por temperatura para cada tratamiento dio una significancia de cero (inferiores a 0.05) para todos los casos, lo cual determinó que, en los tratamientos de las sales, la temperatura influyó decididamente en el peso ganado del grano la temperatura (Tabla 8). Adicionalmente, en el peso ganado del grano por temperatura para cada tratamiento, se clasificaron en tres grupos (A, B y C) las temperaturas que influenciaron significativamente en el peso ganado del grano para cada tratamiento. Esta clasificación por grupos, se estableció dado a que se encontraron temperaturas

con igual y diferente influencia en el peso ganado del grano para cada tratamiento, (Tabla 8).

Tabla 8. CHE del grano por temperatura para cada tratamiento (la significancia fue cero)

Tratamiento	Estadísticos Kruskall-Wallis χ^2	Temperatura °C	N	Mediana Humedad en equilibrio
Cloruro de Litio	11.842	25	12	-0.029 ^A
		30	24	0.018 ^A
		35	21	-0.046 ^B
Cloruro de Magnesio	23.564	25	12	-0.011 ^A
		30	24	-0.030 ^B
		35	21	-0.039 ^C
Carbonato de Potasio	19.881	25	12	-0.006 ^A
		30	24	-0.004 ^A
		35	21	-0.306 ^B
Nitrato de Magnesio	27.285	25	12	0.000 ^A
		30	24	-0.014 ^B
		35	21	-0.027 ^C
Cloruro de sodio	18.445	25	12	0.031 ^A
		30	24	0.008 ^A
		35	21	0.000 ^B
Cloruro de Potasio	27.521	25	12	0.044 ^A
		30	24	0.027 ^B
		35	21	0.018 ^C
Cloruro de Bario	20.730	25	12	0.068 ^A
		30	24	0.052 ^B
		35	21	0.053 ^B
General	30.748	25	84	0.031 ^A
		30	168	0.018 ^B
		35	147	-0.004 ^C

*Comparación pareada entre temperaturas en el tratamiento prueba de Mann Whitney

*Medianas con letras distintas son estadísticamente diferentes

*El promedio no representa el CHE del grano, lo representa la mediana

Por tanto, para los casos de los tratamientos de Cloruro de Litio, Carbonato de Potasio, Nitrato de Magnesio, Cloruro de Sodio y Cloruro de Potasio. A 25 (grupo A), 30 (grupo B) y 35°C (grupo C), tuvieron cada una, diferente influencia significativa en el peso del grano en el tratamiento a las demás temperaturas. No obstante, en los tratamientos de Cloruro de Magnesio y Cloruro de Bario, a 30 y

35°C (grupo B) fueron similares en el peso ganado del grano, pero diferente su influencia a la temperatura de 25°C (grupo A).

Tras realizar la prueba Kruskal-Wallis para el CHE del grano por temperatura para cada tratamiento, los valores de significancia fueron inferiores a 0.05 para todos los casos, determinando que, en los tratamientos de las sales, influyó decididamente la temperatura en el CHE del grano (Tabla 9). Adicionalmente, se clasificaron en tres grupos (A, B y C) las temperaturas que influenciaron significativamente en el CHE del grano para cada tratamiento. Esta clasificación por grupos, se estableció dado a que se encontraron temperaturas con igual y diferente influencia para cada tratamiento (Tabla 9).

Por tanto, para los casos de los tratamientos de Cloruro de Magnesio, Nitrato de Magnesio y Cloruro de Potasio. Las temperaturas de 25 (grupo A), 30 (grupo B) y 35°C (grupo C), tuvieron cada una, diferente influencia en el CHE. Los tratamientos de Cloruro de Litio, Carbonato de Potasio y Cloruro de Sodio, a 25 y 30°C (grupo A) fueron semejantes en el CHE del grano, pero se observó diferencia a 35°C (grupo B). En el tratamiento de Cloruro de Bario, a 30 y 35°C (grupo B) tuvieron la misma influencia el CHE del grano pero diferente a 25°C (grupo A).

La prueba Kruskal-Wallis para el α_w del grano por temperatura para cada tratamiento fueron inferiores a 0.05 para los casos de los tratamientos de Cloruro de Litio, Nitrato de Magnesio, Cloruro de Sodio y Cloruro de Bario. Esto determinó que, la temperatura influyera en el α_w del grano. Sin embargo, dado a los valores de significancia obtenidos y siendo superiores a 0.05 en los casos de los tratamientos de Cloruro de Magnesio, Carbonato de Potasio y Cloruro de Potasio. Se determinó que no influyó la temperatura en el α_w del grano. Por tanto, la temperatura no influyó significativamente el α_w del grano para los tratamientos de Cloruro de Litio, Nitrato de Magnesio, Cloruro de Sodio y Cloruro de Bario (Tabla 9)

Para de Cloruro de Litio y Nitrato de Magnesio a 25 y 30°C (grupo A) tuvieron la misma influencia en el α_w del grano, pero fue diferente a 35°C (grupo B). Con Cloruro de Bario, a 30 y 35°C (grupo B) el comportamiento fue similares para el α_w del grano

y diferentes a 25°C (grupo A). Con Cloruro de Sodio a 30 (grupo a A) y 35°C (grupo B) observaron diferencias en el α_w , a 25°C (grupo AB) obtuvo la misma influencia que a 30°C (grupo A), como también a 35°C (grupo B). Finalmente, en los tratamientos con Cloruro de Magnesio, Carbonato de Potasio y Cloruro de Potasio, la temperatura no influyó en el α_w del grano, por tanto, se clasificaron en un mismo grupo las temperaturas de 25, 30 y 35°C (grupo A) para estos tratamientos (Tabla 9).

Tabla 9. Actividad de agua del grano por temperatura para cada tratamiento

Tratamiento	Estadísticos Kruskal-Wallis		Temperatura	N	Mediana Actividad de agua
	χ^2	Significancia			
Cloruro de Litio	20.860	0.000	25	12	0.571 ^A
			30	24	0.553 ^A
			35	21	0.467 ^B
Cloruro de Magnesio	3.391	0.183	25	12	0.599 ^A
			30	24	0.531 ^A
			35	21	0.530 ^A
Carbonato de Potasio	3.461	0.177	25	12	0.664 ^A
			30	24	0.551 ^A
			35	21	0.553 ^A
Nitrato de Magnesio	14.401	0.001	25	12	0.660 ^A
			30	24	0.610 ^A
			35	21	0.559 ^B
Cloruro de sodio	15.718	0.000	25	12	0.726 ^{AB}
			30	24	0.731 ^A
			35	21	0.705 ^B
Cloruro de Potasio	0.851	0.653	25	12	0.771 ^A
			30	24	0.780 ^A
			35	21	0.788 ^A
Cloruro de Bario	9.879	0.007	25	12	0.825 ^A
			30	24	0.856 ^B
			35	21	0.871 ^B
General	6.595	0.037	25	84	0.663 ^{AB}
			30	168	0.700 ^B
			35	147	0.583 ^A

*Comparación pareada entre temperaturas en el tratamiento prueba de Mann Whitney

*Medianas con letras distintas son estadísticamente diferentes

*El promedio no representa el α_w del grano, lo representa la mediana

Se observa que existe correlación significativa entre el peso ganado del grano y el CHE, dado a que el valor fue 0.002 (inferior a 0.05). Además, se trata de una

correlación negativa moderada ($r = -0.403$), siendo este valor negativo y no muy lejano a cero (0). Por tanto, se puede determinar que estas variables están correlacionadas negativamente de manera moderada. Lo que indica que a medida que una de estas variables aumente, disminuirá la otra y viceversa.

Tabla 10. Correlaciones de Pearson de las variables

		Peso ganado del cacao (g)	Humedad de equilibrio del grano	Actividad de agua
Peso ganado del cacao (g)	Correlación de Pearson	1	-0.403**	0.362**
	Sig. (bilateral)		0.002	0.006
Humedad de equilibrio del grano	Correlación de Pearson	-0.403**	1	-0.659**
	Sig. (bilateral)	0.002		0.000
Actividad de agua	Correlación de Pearson	0.362**	-0.659**	1
	Sig. (bilateral)	0.006	0.000	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas). N= 57

Por otro lado, se evidencia la correlación significativa entre el peso ganado del grano y el α_w 0.006 que es inferior a 0.05, además, se trata de una correlación positiva baja ($r = 0.362$), siendo este un valor negativo y cercano del valor de cero (0). Por tanto, se puede determinar que estas variables están correlacionadas positivamente de forma baja. Lo que indica que a medida que unas de estas variables son proporcionales; cuando aumenta o disminuya una, la otra también lo hará. Adicionalmente, la existencia de correlación significativa entre el CHE y el α_w , fue de 0.000 (inferior a 0.05). Además, se trata de una correlación negativa alta dado a su valor ($r = -0.659$), siendo este negativo y lejano del valor de cero (0). Por tanto, se puede determinar que estas variables están correlacionadas negativamente de forma alta. Lo que indica que a medida que una de estas variables aumente, disminuirá la otra y viceversa (Tabla 10).

Isotermas de sorción

Rahman *et al.*, (2008) manifestaron que el método estático es el método más simple y común para medir la actividad de agua en los alimentos. Siendo sus ventajas: la simplicidad, bajo costo, capacidad para manejar muchas muestras simultáneamente y su fácil operación. Ramírez *et al.*, (2014) expresaron que la

técnica gravimétrica por método estático es de uso más frecuente cuando se trataba de construir la isoterma de un determinado producto. En cuanto a la prevención del crecimiento de microorganismos en soluciones saturadas con elevados niveles de α_w , Labuza, (1984) reiteró que para niveles de α_w superiores a 0.70 se pueden colocar pequeños recipientes con tolueno contenido dentro del recipiente o frasco sellado. Sin embargo, Smith, (1971) expresó que se puede utilizar acetato fenilmercúrico (altamente tóxico) o timol (para productos no grasos) dentro de un soporte especial. Adicionalmente, mencionó que las soluciones de sal se deben preparar con agua destilada fría y reposarse durante una semana en estado cerrado (durante este período de tiempo se debe agitar una vez al día).

A las muestras contenidas en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura, se le realizaron pesadas y mediciones de α_w para poder determinar su contenido de humedad en equilibrio y su variación en el α_w . Este procedimiento se realizó cada 48 horas y una vez evidenciado el equilibrio (muestra con peso constante con diferencia máxima de 0.002 g), las muestras fueron retiradas de los recipientes herméticos. Teniendo en cuenta que se realizó un procedimiento experimental por triplicado, se realizó un promedio a los datos para consolidar un único valor (Tabla 11).

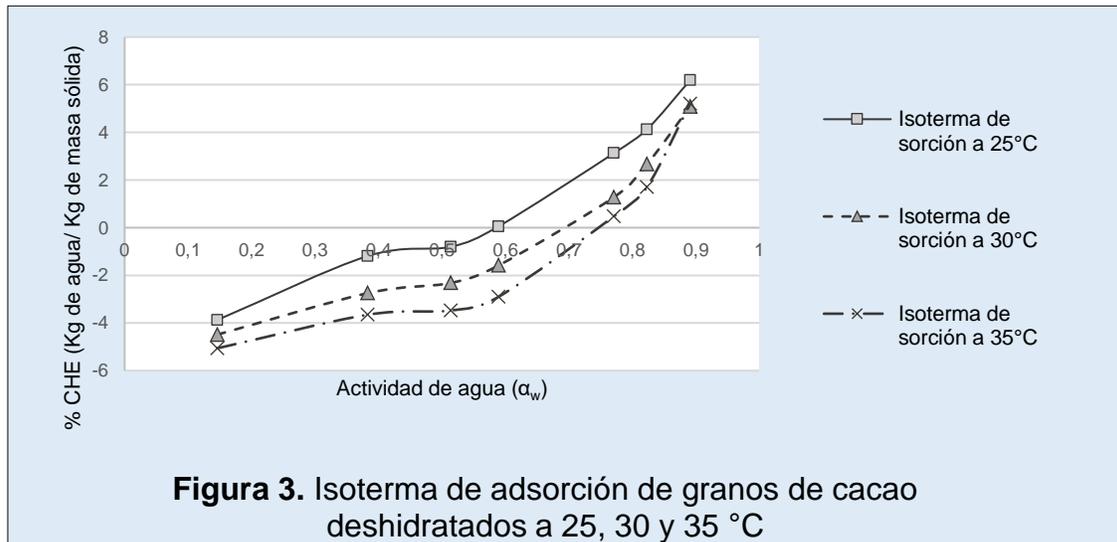
Tabla 11. Datos experimentales de las muestras del estudio de sorción

Actividad de agua (α_w)	25 °C		30 °C		35 °C	
	Peso ganado (g)	%CHE	Peso ganado (g)	%CHE	Peso ganado (g)	%CHE
0.146	-0.071±0.002	-3.873±0.16	-0.075±0.016	-4.488±0.098	-0.078±0.003	-5.060±0.023
0.383	-0.020±0.002	-1.190±0.056	-0.052±0.013	-2.746±0.613	-0.068±0.001	-3.652±0.038
0.514	-0.012±0.004	-0.801±0.271	-0.040±0.001	-2.317±0.152	-0.060±0.001	-3.476±0.048
0.589	0.001±0.001	0.054±0.001	-0.029±0.003	-1.584±0.226	-0.049±0.002	-2.903±0.006
0.771	0.050±0.005	3.130±0.246	0.026±0.007	1.283±0.389	0.010±0.001	0.480±0.034
0.823	0.066±0.004	4.127±0.240	0.051±0.002	2.665±0.165	0.030±0.001	1.712±0.027
0.891	0.115±0.003	6.193±0.076	0.107±0.028	5.087±0.149	0.104±0.009	5.204±0.106

CHE= Contenido de humedad en equilibrio

Finalmente, con estos datos resultantes se construyeron las curvas de sorción a temperaturas de 25, 30 y 35°C para granos de cacao deshidratado (Figura 3) y se

determinó el tiempo al cual las muestras alcanzan su respectivo CHE. Donde las muestras sometidas a diferentes humedades relativas y a temperaturas constantes de 25, 30 y 35°C, tomaron un tiempo total de 768 horas (32 días) aproximadamente en alcanzar el equilibrio (peso constante).



Las muestras que se mantuvieron a 25°C tardaron 144 horas (6 días). En cuanto a las muestras que estuvieron a 30°C demoraron un periodo de 336 horas (14 días) respectivamente. Por último, las muestras sometidas a 35°C tardaron un lapso de 288 horas (12 días) en alcanzar el equilibrio.

En relación al tiempo en que una muestra alcanzó el equilibrio, los autores Khalid y Pradyuman, (2016) realizaron un trabajo de investigación sobre "Isotermas de sorción de humedad y estudio de almacenamiento para la pulpa de tamarindo en polvo secado por pulverización", donde manifestaron que el período de tiempo que requirió la muestra para que alcanzase el equilibrio (peso constante) fue de aproximadamente 3 a 4 semanas. Por otro lado, Yogender y Kamlesh, (2016) presentaron el estudio denominado utilizando la mezcla de sopa instantánea a base de arroz (muestra), alcanzó el contenido de humedad en equilibrio (CHE) en 10 días. Dado a las declaraciones realizadas por los autores mencionados referentes a isotermas de sorción para alimentos, se determinó que los granos de cacao alcanzaron su contenido de humedad en equilibrio entre 1 a 2 semanas. Lo que indica que esta duración está dentro del intervalo de tiempo en el cual un

determinado producto alimentario alcanza el equilibrio a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura.

Los datos experimentales obtenidos en el estudio de sorción para granos de cacao deshidratados a temperaturas de 25, 30 y 35°C. En ella, se puede observar que son isothermas de tipo II (según los cinco tipos de isothermas establecidas por Van der Waals) por tener forma de “S” o por ser tipo sigmoidea. Debido este comportamiento se insinúa una adsorción física en multicapa. Lo cual significa que la formación de la primera capa ocurre por un rápido ascenso inicial de humedad, siendo esta formación mayor en comparación al restante de las capas. Por tanto, al ir elevando los niveles de actividad de agua se forma la segunda capa de moléculas adsorbidas, seguida una de la otra (Figura 3). Este mismo comportamiento lo reportaron Gálvez *et al.*, (2007) y Ramírez *et al.*, (2014), quienes mencionaron que este tipo de isoterma son frecuentes en verduras y frutas dado a que son productos que adsorben pequeñas cantidades de humedad a niveles bajos de actividad de agua y aumentan considerablemente su adsorción de humedad a altos niveles de actividad de agua.

Cabe recalcar que la actividad de agua (α_w) de un producto se puede medir porque el α_w es igual a la humedad relativa del aire en equilibrio con el producto. Por consiguiente, los valores de los niveles de actividad de agua establecidos en el estudio de sorción hacen referencia a la de humedad relativa a la cual los granos de cacao deshidratado no adsorben ni liberan agua al medio en el que se almacenaban.

Prosiguiendo, para este tipo de isothermas se obtuvieron algunos valores negativos en el contenido de humedad de equilibrio de los granos. Considerando que estos cedieron humedad al medio dado a que este medio contenía menor humedad en comparación a los granos de cacao. Estableciendo que a niveles de actividad de agua entre 0.146 y 0.589 (siendo estos valores de α_w iguales a los porcentajes de humedad relativa entre 14.6 y 58.9%), se desarrolló el fenómeno conocido como desorción para cada una de las temperaturas de trabajo.

Pero a humedades relativas superiores al 58.9 % ($\alpha_w = 0.589$) se evidenció que la humedad de los granos aumentó dado a que el medio en el que se encontraban almacenados contenía mayor humedad en comparación a estos (adsorción). Por tanto, en las isotermas para granos de cacao deshidratado (con 7 a 8% de humedad) se lograron los fenómenos de adsorción y desorción para cada una de las temperaturas de trabajo establecidas. Las muestras tenían más humedad en comparación al medio que los almacenaba. Por tal motivo, las muestras cedieron humedad al medio obteniéndose ciertos valores negativos en el contenido de humedad en equilibrio para este mismo nivel de actividad de agua.

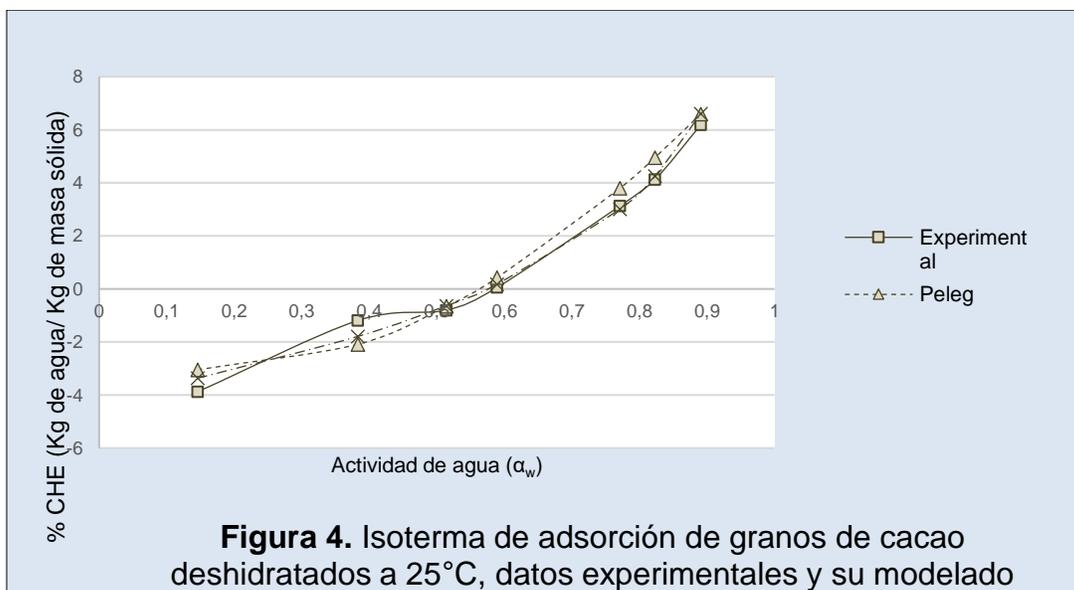
De lo anterior y detallando las isotermas obtenidas, se estableció que a 35°C y a niveles de actividad de agua iguales o inferiores a 0.589 (58.9% de humedad relativa), los granos cedieron más humedad al medio (mayor presencia del fenómeno de desorción) en comparación a los granos almacenados a 25 y 30°C. Pero a esta misma temperatura y a niveles de actividad de agua iguales y/o inferiores a 0.711 (71.1% de humedad relativa), los granos adsorbieron menos humedad del medio (menor presencia del fenómeno de adsorción) en comparación a los granos almacenados a temperaturas de 25 y 30°C. A excepción del nivel de actividad de agua de 0.891 (89.1% de humedad relativa) contraste a la temperatura de 30°C, debido a que a estas condiciones los granos almacenados a 35°C adsorbieron mayor humedad del medio en comparación a los de 30°C.

Continuando en orden descendiente referente al fenómeno de desorción, le siguen los granos que estuvieron almacenados a 30°C con niveles de actividad de agua iguales o inferiores a 0.589 (58.9% de humedad relativa). Pero referente al fenómeno de adsorción que se observó en la isoterma de 30°C y a niveles de actividad de agua superiores al 0.771 (77.1% de humedad relativa), los granos almacenados bajo estas condiciones adsorbieron más humedad del medio en comparación a los granos almacenados a 35°C, pero caso contrario ocurrió a un nivel de actividad de agua de 0.891 (89.1% de humedad relativa).

Finalmente, las condiciones donde los granos cedieron menos humedad al medio en comparación a las condiciones de 30 y 35°C, fueron a temperatura de 25°C y a

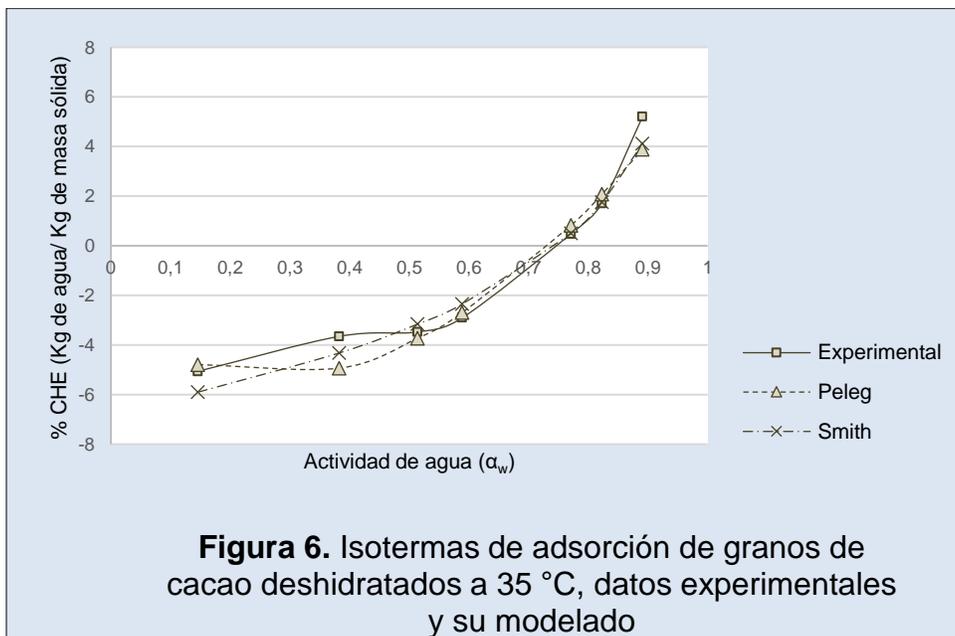
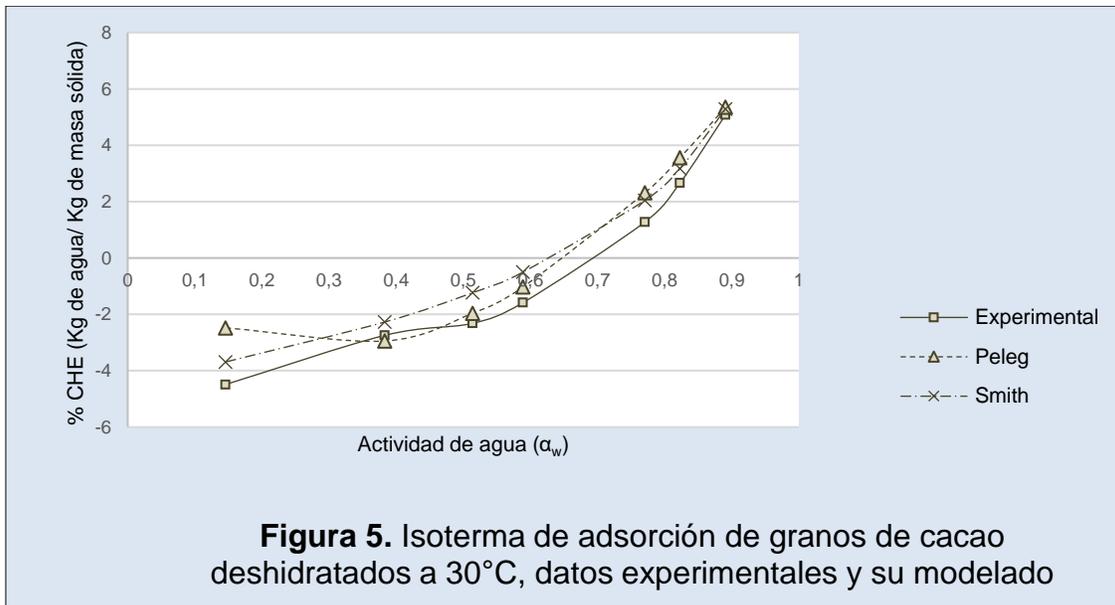
niveles de actividad de agua iguales y/o inferiores a 0.514 (51.4% de humedad relativa). No obstante, a esta misma temperatura, pero a niveles de actividad de agua iguales y/o superiores a 0.589 (58.9% de humedad relativa), los granos adsorbieron mayor cantidad de humedad del medio en comparación a las otras temperaturas de trabajo.

La ecuación utilizada para las tres temperaturas un R^2 en dieron un R entre 0.907 a 0.960, Considerando ser un modelo útil a la hora de modelar isothermas de sorción para granos de cacao deshidratado. No obstante, se presentaron coeficientes de correlación más cercanos a uno (1) fue el modelo predictivo de Smith, (1971). Reportando un R^2 entre 0.941 a 0.988, determinando que es el que mejor se ajusta a los datos experimentales de granos de cacao deshidratados en el rango de temperaturas evaluado. En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan las curvas experimentales y modeladas (ajustadas) a 25, 30 y 35°C, respectivamente, utilizando los modelos propuestos, donde se observa de manera gráfica el buen ajuste obtenido con estos modelos.



Pudo observarse que las constantes de los modelos propuestos presentaron cambios sin una tendencia clara con base a las temperaturas de trabajo. Demostrando la imposibilidad de utilizar una ecuación generalizada para describir el comportamiento de adsorción en granos de cacao deshidratado. Considerando

que estas variaciones pudieron deberse a los diferentes supuestos propios de cada modelo. Sin embargo, los modelos empleados han presentado un buen ajuste (R^2) por lo cual cada uno permitió realizar predicciones altamente aproximadas.



CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados se puede afirmar que las ecuaciones de Peleg y Smith, modelaron correctamente los datos experimentales para las temperaturas de

trabajo (25, 30 y 35°C). Sin embargo, el modelo de Smith presentó el mejor ajuste de los datos experimentales de granos de cacao deshidratados en todo el intervalo de contenido de humedad y actividad de agua considerado en este estudio.

Se pudo observar que las isotermas de adsorción de granos de cacao deshidratado tuvieron forma de "S". Considerándose ser tipo II, lo que insinúa una adsorción física en multicapa, un comportamiento característico de frutas y verduras.

No obstante, a niveles de actividad de agua entre 0.146 y 0.589, los granos cedieron humedad al medio. Considerando que el medio en el cual los granos estaban almacenados, contenía menor humedad en comparación a estos. Por tanto, se considera la ocurrencia del fenómeno denominado desorción a estos niveles de actividad de agua para cada una de las temperaturas de trabajo.

Teniendo en cuenta que en las isotermas se presencié el fenómeno de desorción, se puede apreciar, además, que al aumentar el nivel de actividad de agua se tiene como efecto el incremento en el contenido de humedad de equilibrio en los granos a temperatura constante. Considerando la tasa de desorción más alta al inicio del estudio de sorción y conforme, va disminuyendo constantemente. Dando inicio a la tasa de adsorción hasta el punto en llegar a la humedad de equilibrio con respecto a las condiciones del medio en el que se encuentran almacenados los granos.

Con base al comportamiento de las isotermas de granos de cacao deshidratados, se expone que la temperatura influyó de forma inversa sobre el contenido de humedad en equilibrio. Lo cual indica que, a un mismo nivel de actividad de agua, el contenido de humedad en equilibrio en los granos de cacao deshidratado será mayor a una baja temperatura y viceversa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que a condiciones de humedad relativa superior al 51.4% e igual y/o inferior al 58.9% con temperatura a 25°C, se prolongaría la vida útil de los granos de cacao deshidratados manteniendo estándares de calidad durante el proceso de almacenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afoakwa, E. 2010. Chocolate science and technology. UK: Wiley Blackwell Publishers. 3-82 p.
- Amoa-Awua, W. 2016. Methods of cocoa fermentation and drying, Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks. *Talanta*, 16: 31.
- AMOA-AWUA, W. 2015. Methods of cocoa fermentation and drying, in R.F. Schwan and G.H. Fleet, *Cocoa and Coffee Fermentations*, First ed., CRC Press - Taylor & Francis Group, NY, USA. Pag. 71-116 p.
- Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C.). Official methods of analysis. 931.04. 18th Edition. Gaithersburg, Maryland. USA. 2000.
- Cardona L. 2016. Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis para Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 99 p. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/57686/1/43987710_2017.pdf
- Cortés, F. 2006. Modelamiento del proceso de adsorción y desorción de metanol en un lecho de carbón activado para la aplicación en sistemas de refrigeración solar por adsorción intermitente. Tesis en Maestría de Ingeniería Química, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 103 p. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2017771226849_2006.pdf?sequence=1
- Cubillos, G, Merizalde G y Correa E. 2008. Manual de beneficio del cacao, Medellín, Colombia 2008. 1-29 p. Disponible en: https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/manual_beneficio_cacao.pdf
- De la Cruz J, Vargas M, Del Angel Coronel O. 2009. Cacao: Operaciones Poscosecha, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 78 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Di Mattia C, Martuscelli M, Sacchetti G, Scheirlinck I, Beheydt B, Mastrocola D, Pittia P. 2013. Effect of fermentation and drying on procyanidins, antiradical activity and reducing properties of cocoa beans. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 3420-3432.
- Escobar, J., Rojas, M. 2001. Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena del cacao y su agroindustria: Colección de documentos IICA serie Competitividad. 1-40 p.
- Federation of Cocoa Commerce (FCC). 2015. Cacao en grano: Requisitos de calidad de la industria del chocolate y del cacao. 110 p. Disponible en: http://cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf
- Gálvez et al. 2006. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.) *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26: 821-827.
- Hansen, C, Del Olmo M, Burri C 1999. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 273-281
- Khalid, M., Pradyuman, K. 2016. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp. *Powder Technology*, 291: 322-327.
- Labuza, T. 1984. Moisture Sorptions: Practical Aspects of Isotherm Measurement and use. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 4.
- Labuza T, Acott K, Tatini S, Lee R, Flink J, McCall W. 1976. Water activity determination: A collaborative study of different methods. *Journal of Food Science*, 41: 910-917. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1976.tb00751.41.4.x>
- León-Roque N, Abderrahim M, Nuñez-Alejos L, Arribas S, Condezo-Hoyos L, LEÓN, N. et al. 2016. Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks. *Talanta*, 161: 31-39. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27769412>
- Moreira R, Torres R, Chenio F, Vallejo M. 2008. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *J. Foods Eng.*, 88: 514-521. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222921300_Thermodynamic_analysis_of_experimental_sorption_isotherms_of_loquat_and_quince_fruits
- Murrieta E, Palma H. 2018. Manual de buenas prácticas de cosecha postcosecha de cacao a nivel de productor. USAID- Alianza cacao 43 p. Disponible en: https://issuu.com/comunicacionessalianzaccacaoperu/docs/manual_poscosecha_cacao
- Muzaffar K, Kumar P. 2016. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 29: 322-327. Disponible en: <https://kundoc.com/pdf-moisture-sorption-isotherms-and-storage-study-of-spray-dried-tamarind-pulp-powder.html>
- Norma Técnica Colombiana (ICONTEC). NTC 1252. 2003. Cacao en grano, 2003. 12 p. Disponible en: <https://pdfslide.net/documents/ntc-1252-cacao-en-grano.html>
- Parra, P. 2013. Secado artificial de cacao. Estado de arte. Primer Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. 211-238.
- Peláez P., Contreras D, Guerra S. 2016. Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria*, 7: 111-119. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305368597_Changes_in_physical_and_chemical_characteristics_of_fermented_cocoa_Theobroma_cacao_beans_with_manual_and_semi-mechanized_transfer_between_fermentation_boxes
- Prabhakaran N. 2010. Cocoa (*Theobroma cacao* L.). In *The agronomy and economy of important tree crops of the developing world*, pp. 131-180. Elsevier Inc. (Chapter 5).
- Procolombia. 2015. El cacao colombiano: Oportunidades y retos en el mercado internacional. Bogotá D.C., septiembre 2015, pp 1-31.
- Rahman, S. (ed.) 2009. Food Properties Handbook. Second Edition. USA. 1088 p.
- Rahman, S. y Sablini, S. Water Activity Measurement Methods of Foods. En: *Food Properties Handbook*. Second Edition: M. Shafiq Rahman. 2008. 1-27 p.
- Ramírez M, Cruz M; Vizcarra M, Anaya, I. 2014. Determinación de las isotermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Rev. Mex. Ing. Quím* [online]. 13 (1): 165-178.
- Ramos, G. 2004. La fermentación, el secado y almacenamiento del cacao. Taller Internacional de Calidad Integral de Cacao. Memorias INIAP. Quededo, Ecuador.
- Ramos, G. 2013. La fermentación, el secado y almacenamiento del cacao. Taller Internacional de Calidad Integral de Cacao. Memorias INIAP. Quededo, Ecuador, citado por Parra, P. Secado artificial de cacao. Estado de arte. Primer Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. 214 p.
- Sajad A, Pradyuman, K. 2016. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 74: 448-455.
- Sandoval, A, Barreiro, J. 2002. Water sorption isotherms of non-fermented cocoa beans (*Theobroma cacao*). *Journal of Food Engineering*, 51: 119-123.
- Sandoval, A, Barreiro, J. 2002. Sorption characteristics of fermented cocoa powder (*Theobroma cacao*). *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 25: 49-54.
- Smith, P. 1971. The determination of equilibrium relative humidity or water activity in foods - A Literature Review. The British Food Manufacturing Industries Research Association, England.
- Spieß, W., Wolf, W. 1987. The results of the COST 90 project on water activity. *Physical Properties of Food*, pp 65-91.
- Staudt P, Kechinskil C, Tessaro C, Soares R, Cardozo N. 2013. A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures using the BET model. *Journal of Food Engineering*, 114: 139-145. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412003500>
- Schwan, R., Wheels, A. 2004. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (4): 205-221.
- Tinoco H, Ospina D. 2010. Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado. *Revista EIA*, 13: 53-63. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n13/n13a05.pdf>
- Vega A, Lara, Lemus M. 2006. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.) *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26: 821-827. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940080017.pdf>
- Valadez L, Plazola C, Hernández M, Hernández D, Villarreal F, Necochea H, A Ortiz A, Ceballos G. 2017. Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 378-386. Disponible en: <https://jpn.elsevierpure.com/es/publications/effects-of-microwaves-hot-air-and-freeze-drying-on-the-phenolic-c>
- Villamizar, F., Hernández, J. 2011. Determinación de parámetros y simulación matemática del proceso de secado del cacao (*Theobroma cacao*). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 1-12 p.
- Wani, S., Kumar, P. 2016. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *LWT Food Science and Technology*, 74: 448-455. Disponible en: https://www.academia.edu/31656076/Moisture_sorption_isotherms_and_evaluation_of_quality_changes_in_extruded_snacks_during_storage
- Yogender, S., Kamlesh, P. 2015. Sorption isotherms modeling approach of rice-based instant soup mix stored under controlled temperature and humidity. *Cogent Food & Agriculture*. 1: 1-11.
- Zhang, X.; Xie L, De-Xiang G, Wei Z, Ren- L, Pen L. 1996. Desorption Isotherms of Some Vegetables. *J. Scie Food Agric.*, 70 (3): 303-306.

Uso de la tierra y su influencia en la compactación del suelo en el Oriente de Colombia

Land use and its influence on soil compaction in eastern Colombia

Uso da terra e sua influência na compactação do solo no leste da Colômbia

López Hernández Alejandra¹, Astroz Cano Andrea Maritza¹ y Silva Parra Amanda²

¹Ingenieras Agrónomas Universidad de los Llanos y

²Ingeniera Agrónoma, Msc. PhD, Docente Universidad de los Llanos

asilvap@unillanos.edu.co

Recibido 19 de noviembre 2019, Aceptado 12 de marzo 2020

RESUMEN

En este trabajo, se evalúa el impacto de diferentes usos en la compactación del suelo, para ello se estudiaron cuatro usos considerados como corrientes en la zona de Puerto Lleras-Meta-Colombia: sistema silvopastoril (SSP), monocultivo (MON), pastura (PS) y bosque secundario (BS), se tomó una muestra compuesta de 5 puntos a 20 cm de profundidad por cada sistema, usándose un diseño experimental irrestrictamente al azar DIA, debido a que los análisis físico-químicos de suelo se analizaron bajo condiciones controladas de laboratorio. Las variables que se evaluaron fueron: Materia orgánica (Walkley and Black), pH (potenciométrico), Densidad aparente (terrón parafinado), Humedad gravimétrica, Humedad volumétrica, Densidad real, Porosidad, Lámina de agua, Humedad volumétrica a capacidad de campo, Macroporosidad, Resistencia a la penetración (penetrologger) y Textura 8bouyoucos). Para evaluar la resistencia a la penetración de cada sistema se utilizó el penetrologger. El análisis estadístico se realizó mediante análisis de variancia ($P < 0.01$) y las diferencias entre los tratamientos se analizaron mediante prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los datos se corrieron en paquete estadístico Infostat. Los resultados indicaron que el BS, SSP, PS y MON no presentaron problemas de compactación, medidos por la densidad aparente y la resistencia a la penetración, los sistemas poseen suelos de predominancia arenosos y por lo tanto son menos susceptibles a este problema, el sistema de MON aunque no presentó problema de

compactación tiende a una macroporosidad (M) cercana al 10% (14.08%). El SSP presentó una Pt total ideal, y el BS es un sistema altamente retenedor de agua.

Palabras clave: Bosque, monocultivo, pastos, silvopastoril, suelo.

ABSTRACT

In this work, the impact of different uses on soil compaction is evaluated, for which the current and current means uses in the area of Puerto Lleras-Meta-Colombia are studied: silvopastoral system (SPP), monoculture (MON), pasture (PS) and secondary forest (SF), a composite sample of 5 points at 20 cm of depth was redirected for each system, we used an experimental design absolutely randomly DIA, because the physical-chemical analyzes of the soil were analyzed under controlled laboratory conditions. The variables that were evaluated were: Organic matter (Walkley and Black), pH (potentiometric), Apparent density, Gravimetric humidity, Volumetric humidity, Real density, Porosity, Water sheet, Volumetric humidity at field capacity, Macroporosity, Resistance to Penetration and texture. To assess the resistance to penetration of each of the systems, the penetrator has also been used. The statistical analysis was carried out by means of the analysis of variance ($P < 0.01$) and the differences between the treatments were analyzed by the Tukey test ($P < 0.05$). The data were run in the Infostat statistical package. The results indicate that the SF, SPS, PS and MON do not present problems of compaction, means by the apparent presence and the resistance to the penetration, the systems of predominance of the sandy ones and therefore are less susceptible to this problem, the system However, there was not a problem of compaction that tends to a macroporosity (M) close to 10% (14.08%). The SPS presented a total ideal, and the FS is a highly water retaining system.

Keywords: Forest, monoculture, pastures, silvopastoral, soil.

RESUMO

Neste trabalho, avalia-se o impacto de diferentes usos na compactação do solo, estudando-se quatro usos considerados correntes na área de Puerto Lleras-Meta-

Colômbia: sistema silvipastoril (SSP), monocultura (MON), pastagem (PS) e floresta secundária (BS), uma amostra composta de 5 pontos a 20 cm de profundidade foi coletada para cada sistema, utilizando um delineamento experimental DIA irrestritamente aleatório, pois as análises físico-químicas do solo foram analisadas sob condições controladas laboratório. As variáveis avaliadas foram: matéria orgânica (Walkley e Black), pH (potenciométrico), densidade aparente (nódulo parafinizado), umidade gravimétrica, umidade volumétrica, densidade real, porosidade, lençol d'água, umidade volumétrica à capacidade de campo, macroporosidade, Resistência à penetração (penetrologger) e Texture (bouyoucos). O penetrológico foi utilizado para avaliar a resistência à penetração de cada sistema. A análise estatística foi realizada por análise de variância ($P < 0,01$) e as diferenças entre os tratamentos foram analisadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Os dados foram executados no pacote estatístico Infostat. Os resultados indicaram que as BS, SSP, PS e MON não apresentaram problemas de compactação, medidos pela densidade aparente e resistência à penetração, os sistemas possuem solos predominantemente arenosos e, portanto, são menos suscetíveis a esse problema. Apesar de não apresentar um problema de compactação, tende a uma macroporosidade (M) próxima a 10% (14,08%). O SSP apresentava uma Pt total ideal e o BS é um sistema altamente retentor de água.

Palavras-chave:**INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de producción agropecuarios en Colombia y específicamente los de la región de la Orinoquia ubicada en el Oriente de Colombia, se basan principalmente en la explotación de los recursos naturales, a través de la implementación de monocultivos y de ganadería intensiva, ocasionando sobreuso del suelo, degradación y abandono de la tierra (Noruega y Vélez, 2011).

La compactación del suelo en áreas planas de agricultura intensiva en la Orinoquia y la erosión del suelo de ladera, son los principales problemas de degradación en Colombia (Jaramillo, 2002). Los procesos de pérdida de estructura, compactación,

encostramiento superficial están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza (Streck *et al.*, 2004). Los sistemas de uso de suelo como los de monocultivo tienden a la degradación y a la insostenibilidad en el largo plazo (Lal, 2015), por lo tanto, hay que hacer un uso más racional de este recurso, para evitar su degradación, implementando sistemas que ayuden a mantener los ecosistemas, como los agroforestales, entre ellos los silvopastoriles.

Según la FAO, (2016) la compactación de suelo puede disminuir el rendimiento agrícola hasta un 60%, lo cual se debe a la mala gestión agrícola (80%) y el sobrepastoreo (16%), son las dos principales causas antrópicas de compactación, ocasionando la disminución de la macroporosidad del suelo y aumento de su microporosidad, ofreciendo una mayor resistencia a la penetración de las raíces de las plantas. La labranza mínima está entre las mejores opciones para reducir gastos de laboreo, conservar suelos y agua, incrementar la disponibilidad de carbono orgánico del suelo y reducir las emisiones netas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI). Se estima que el 4% de la superficie terrestre global se encuentra compactada (Alakukku *et al.*, 2003).

Los suelos se diferencian en propiedades químicas como su textura, contenido de agua, materia orgánica, y propiedades físicas como la densidad aparente, porosidad, y resistencia a la penetración, las cuales se pueden ver afectados por la compactación, es así que Blainski *et al.* (2008) afirmaron que la pérdida de suelo por erosión, reducción de la materia orgánica y la compactación son algunos de los factores que corroboran la degradación física del suelo.

Según Luciano *et al.*, (2012) el uso de maquinaria en suelos con una humedad próxima al límite de plasticidad es uno de los principales factores que compacta los suelos agrícolas, pues el agua reduce la cohesión de las partículas del suelo. La implementación de pasturas mejoradas con manejo intensivo, principalmente del género *Brachiaria*, es otro uso común en esta zona, el correcto manejo de pasturas es primordial para garantizar un sistema de producción sustentable. Sin embargo, el manejo de maquinaria, y el sobrepastoreo puede ocasionar problema de compactación (Mur y Balbuena, 2014).

El suelo como recurso natural es primordial para la sostenibilidad de los sistemas productivos de la región, por lo que éste se convierte en elemento principal en el desarrollo de sistemas agroecológicos, agrícolas y pecuarios (Medina, 2016). Los principales problemas de la degradación física de los suelos son la compactación y el adensamiento, estos causan fuertes disminuciones en los rendimientos de los cultivos (Lal, 2015).

La compactación del suelo, debido al colapso o disminución de los espacios de poros, es la causa más común de restricción física para el crecimiento y desarrollo de las raíces, la cual puede ser identificada mediante la medición de la densidad aparente y la resistencia a la penetración (Jaramillo, 2002).

La degradación de la estructura del suelo es considerada como el tipo de degradación de tierras más difícil de localizar y reconvertir; medible mediante la resistencia a la penetración, la razón es que esta degradación es un fenómeno subsuperficial (Medina, 2016). De ahí, que sea necesario identificar los usos del suelo en la zona de estudio, con impactos negativos en las propiedades físicas de los suelos, como indicadores de compactación.

La compactación del suelo se define como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él (McKenzie y Ramos, 2010). En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de uso agrícola intensivo o sistemas de monocultivo, que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas. El suelo ideal es aquel que se compone de un 50% de sólidos, 25% de agua y 25% de aire, características que pueden encontrarse en sistemas naturales como bosques (McKenzie y Ramos, 2010)

Según Lima *et al.*, (2004) “los sistemas de pasturas, la intensidad del pisoteo y el tiempo de permanencia de los animales en el área también determinan el grado de

degradación estructural que puede ocurrir al suelo”. Los bovinos ejercen una fuerza de hasta 400 kPa (kilopascales) en la superficie del suelo.

Camargo y Alleoni, (1997) reconocen cuatro formas y medidas de la compactación del suelo: a) densidad del suelo o porosidad; b) infiltración del agua; c) resistencia a la penetración y; d) evaluación en calicatas. La densidad del suelo es el método más indicado por ser menos influenciado por factores externos, como la humedad. Al contrario, la infiltración del agua y la resistencia a la penetración son sensibles al estado de humedad del suelo. El diagnóstico de abertura de calicatas es más recomendable para evaluar el perfil del suelo al final de un cultivo.

Condiciones de crecimiento favorables, tales como propiedades físicas adecuadas, adecuada precipitación y una óptima fertilidad, pueden minimizar los efectos de la compactación (Bertol *et al.*, 2000). Una compactación severa puede causar una pérdida de rendimiento de hasta un 60%, sin embargo, se estima que en promedio la compactación reduce el potencial de rendimiento entre un 10 a 20%.

Una gestión adecuada del suelo constituye un factor esencial en la agricultura sostenible y proporciona también un resorte valioso para regular el clima y salvaguardar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. Los suelos saludables son un requisito previo básico para satisfacer las diversas necesidades de alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos, y para garantizar la prestación de los servicios ecológicos esenciales en todas las regiones del mundo (FAO, 2015). Las funciones específicas que un suelo proporciona se rigen en gran medida por el conjunto de propiedades químicas, biológicas y físicas que se hallan en dicho suelo. Así mismo, los suelos son una reserva clave de biodiversidad mundial que abarca desde los microorganismos hasta la flora y la fauna. Esta biodiversidad tiene una función fundamental en el respaldo a las funciones del suelo y, por tanto, a los bienes y servicios ecosistémicos asociados a estos (FAO, 2015).

Según el IGAC, (2013) el área continental se encuentra cubierta en su mayoría por bosques, en un 53% del área total, seguido por los territorios ganaderos que corresponden a un 31%, y los territorios agrícolas a un 5%.

METODOLOGÍA

Ubicación

El trabajo se realizó en el municipio de Puerto Lleras-Meta, localizado al oriente de Colombia, con coordenadas geográficas Latitud: 3.267, Longitud: -73.367 3° 16' 1" Norte, 73° 22' 1" Oeste. Los veranos son cortos muy caliente y nublado, temperatura promedio 30 °C, velocidad del viento 6 Km/h, 80% de humedad relativa y precipitación anual de 2611 mm. En Puerto Lleras existen cuatro unidades geomorfológicas: el primero es la planicie aluvial activa de desborde (8,1%), después están los suelos de terrazas aluviales, los suelos de altillanura (59,3%) y las formas subordinadas a la red hidrográfica. De estas, la planicie aluvial es la de mayor fertilidad, presenta paisajes ubicados en clima cálido húmedo, cada uno con subpaisajes fisiográficos de acuerdo con su morfología, litología y edad. Se pueden resumir así: 1. Altiplanicie Estructural – Erosional (LDe1-2, LCcd1, LBbc, LAab, LEab, APa y VCa). Presenta colinas y lomas arcillosas, conglomerados, superficies onduladas, altillanura plana, vallecitos aluviales con erosión moderada y ligera, (IGAC, 2015; Mintrabajo, 2013).

Diseño estadístico

Se estudiaron cuatro diferentes usos del suelo, considerados como comunes en la zona de estudio, los cuales presentaron similares condiciones de formación de los suelos, clasificados como Inceptisoles, pero se distinguieron en cuanto al propósito de la producción, manejo, vegetación y tiempo de explotación.

Se aplicó un diseño irrestrictamente al azar DIA, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones para un total de 20 unidades experimentales. La Tabla 1 describe los sistemas de uso seleccionados.

Ensayo de campo

Se seleccionaron cinco puntos totalmente al azar en cada sistema y se establecieron cajuelas tomando muestras a 20 cm de profundidad, extrayendo 3 submuestras compuestas, que correspondieron a las repeticiones por cada

tratamiento en un área de 100 m², las cuales fueron empacadas y rotuladas debidamente. Para el estudio de la resistencia a la penetración se realizó directamente en cada uno de los sistemas, usando el instrumento penetrológico, en el cual se realizaron cinco mediciones en los puntos, donde se tomaron las muestras del suelo en cada sistema.

Tabla 1. Tratamientos evaluados

Tratamientos	Sistemas	Descripción
T1	Silvopastoril. (SSP)	El sistema silvopastoril está compuesto por pastura de <i>Brachiaria decumbens</i> asociado con árboles nativos del género leguminosas, su tiempo de uso es de 15 años. Sistema extensivo, y no hay manejo del pastoreo.
T2	Monocultivo. (MON)	El sistema de monocultivo está plantado con <i>Manihot esculenta</i> , su tiempo de uso es de aproximadamente 1 año.
T3	Pastura. (PAS)	El sistema de pastura está sembrado con pasto <i>Brachiaria decumbens</i> , 5 años de uso. Sistema extensivo y no hay manejo del pastoreo.
T4	Bosque secundario (BS)	El bosque secundario es una combinación de varias especies de la zona, está en sucesión natural, y lleva aproximadamente 12 años.

Variables físico-química analizadas

Las muestras de suelo se procesaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos, correspondiendo a análisis físico-químicos, se siguieron las metodologías consignadas por el IGAC 2006. (Tabla 2)

Análisis estadísticos

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza ($P < 0.01$) y las diferencias entre los tratamientos se analizaron mediante prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los datos se corrieron usando en paquete estadístico Infostat (González, *et al.*, 2008).

Tabla 2. Metodología utilizada para la evaluación de las variables físicas en el presente estudio.

Variable	Unidad	Metodología
Densidad aparente (Da)	g/cc	Terrón Parafinado
Textura	%arena, limo, arcilla	Bouyoucos
pH		Peachimetro
Materia orgánica	%	Walkley and Black
Resistencia a la penetración	MPa	Penetrologer
Lámina de agua (Z)	Mm	$Z = H\theta/100 \times \text{prof (mm)}$
Porosidad Total (Pt)	%	$1 - Da/Dr \times 100$
Humedad Volumétrica (H θ)	%	Hw x Da
Humedad Gravimétrica (Hw)	%	$Psh - pss/pss \times 100$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del uso del suelo en la densidad, pH y materia orgánica (MO)

La densidad aparente (Da) hasta los 20 cm de profundidad varió de 1,15 a 1,32 gr/cm³ en BS y MON, lo que indica que existe variación en esta propiedad, de acuerdo al sistema que este establecido. Laureda *et al.*, (2016), afirman que la intensificación de la producción es debida a los monocultivos, trayendo como resultado la utilización excesiva de maquinaria, pudiendo ocasionar compactación por “pie de arado” y elevando la Da. BS presentó diferencia con MON y SSP ($P < 0.05$), pero fue igual a PS ($P > 0.05$), presentando los valores más bajos, sin embargo, PS también fue igual a MON y SSP con valores más altos ($P > 0.05$) (Tabla 3). De acuerdo con los rangos establecidos por Jaramillo (2002), en suelos arenosos se presenta compactación, cuando la Da > 1.6 g/cc, lo cual demuestra que los usos de suelo evaluados, con texturas predominantemente arenosas presentan compactación. Generalmente, las prácticas de manejo tienen mayor impacto sobre las propiedades físicas de suelos arenosos que en suelos arcillosos (Silva *et al.*, 2011).

Los suelos arenosos tienden a compactarse menos que los arcillosos, ya que, puesto que la compactación es una reducción de la macroporosidad del suelo, caracterizándose los de textura arenosa por su mayor predominancia de macroporos, por lo tanto, tienen un buen drenaje y menor fuerza de cohesión, conservando así su estructura y perdiendo en menor grado el espacio poroso (Silva *et al.*, 2011).

Tabla 3. Efecto de los sistemas de uso en la densidad aparente del suelo.

Sistemas	Da (g/cm ³)	pH	MO (%)
Monocultivo	1.32±0.30 ^b	5.54±0.23 ^b	1.18±0.11 ^b
Silvopastoril	1.31±0.30 ^b	4.68±0.23 ^{ab}	1.10±0.11 ^b
Pastura	1.23±0.30 ^{ab}	4.44±0.23 ^a	1.38±0.11 ^{ab}
Bosque	1.15±0.30 ^a	4.16±0.23 ^a	1.70±0.11 ^a

0.30 = Error estándar. Medias con letras diferentes son significantes ($p > 0,05$), prueba de Tukey. Da= densidad aparente. MO= materia orgánica.

El pisoteo excesivo por los animales en sistemas de pastoreo; y en el monocultivo, el uso de maquinaria pesada, la mecanización en condiciones inadecuadas de humedad, aumenta la densidad aparente a niveles mayores de 1.0 g/cm³ (Batey y McKenzie, 2006). Los factores anteriormente relacionados en el SSP (1,31g/cm³), como en el sistema de MON (1,32 g/cm³) pudieron ser influyentes en la obtención de valores más altos de Da del suelo (Tabla 3).

La densidad aparente como indicador de la compactación es mayor a medida que aumenta la carga animal, estos resultados concuerdan también con lo afirmado por Foloni *et al.*, (2003) puesto que un suelo sometido a una determinada presión, ocasiona una reducción en su volumen y como consecuencia trae un aumento en su densidad aparente. En el SSP comparado con la PAS, se manejan ambos de manera extensiva, y no se realiza un manejo del pastoreo adecuado, como la rotación de potreros, tendiendo ambos a problemas de compactación por lo tanto alcanzaron el nivel crítico de densidad aparente de 1.31 y 1,23 g/cm³, respectivamente (Tabla 3).

La compactación ocasionada por el pisoteo del animal depende principalmente de la clase de suelo, del contenido de humedad, carga animal y de la especie forrajera, siendo generalmente localizada en áreas de mayor movimiento como búsqueda de agua o alimento (Lima *et al.*, 2004).

Los sistemas PAS, BS y MON, clasifican como suelos ácidos, sin diferencia entre ellos ($P>0.05$), aunque MON tiende a menor acidez activa, con un pH moderado de 5.54, siendo mayor su valor ($P<0.05$) en comparación con PS y BS (Tabla 3). Este resultado se puede deber a que el MON recibe constantemente prácticas de encalado y como es lógico tienen su efecto en el aumento del pH (Fageria y Baligar, 2008), y en los SSP por su parte se tiene comprobado que los árboles leguminosos implementados en las pasturas mejoran el pH del suelo, porque aportan N, bajando los costos por fertilizantes nitrogenados y los impactos ambientales (Lüscher *et al.*, 2014; Parra *et al.*, 2019).

Los valores del porcentaje de la MO variaron de 1,10 a 1,70%, siendo el SSP el de menos contenido y el sistema de BS el de mayor contenido, se observó un comportamiento similar en el contenido de MO y Da, es decir, que, entre los SSP, MON y PAS no se encontraron diferencias ($P>0.05$), sin embargo, PAS y BS, también fueron similares, siendo este el sistema el de mayor contenido de materia orgánica (1,70%) (Tabla 3). Sin embargo, la influencia del uso de suelo en la MO no es significativa, debido a que los valores obtenidos, clasifican como suelos pobres de materia orgánica menos de 2%, que es común en de suelos de esta zona tropical. Resultados similares en el BS, fueron obtenidos por Cairo *et al.*, (2017), con incrementos del contenido de materia orgánica en un bosque, debido al aporte de la hojarasca.

El alto contenido de materia orgánica en los pastos cultivados podría atribuirse a alta cantidad de residuos, principalmente de gramíneas sobre la superficie del suelo. Según Moussadek *et al.* (2014), esta retención de residuos en la superficie del suelo aumenta el carbono orgánico y agregados estables en agua. Según Orellana *et al.*, (2008) los residuos de gramíneas presentan altos contenidos de lignina, con una

estrecha relación entre carbono/nitrógeno permitiendo una lenta mineralización y enriquecimiento de la materia orgánica.

Los cambios en el stock de carbono se presentan de manera diferente, según sea el tipo de uso del suelo; por ejemplo, se espera que, en suelos de bosque, la distribución de carbono en profundidad sea menor en comparación con el que están establecidos matorrales o pasturas. Así, el stock de C en los suelos de bosque es sensible al cambio por diferentes factores, entre los que se encuentra el clima (Palosuo, 2008).

Lo anterior coincide con los resultados de Rodríguez, (2016) quien encontró que el mayor stock de C a más profundidad en los sistemas agrícolas asociados con pasturas. Por su parte en el SSP se observa que los valores fueron muy bajos, al respecto, Silva *et al.*, 2011, menciona que los contenidos de carbono orgánico (CO) en este sistema tienen que ver con la mezcla de leguminosas rastreras, que incrementaron paulatinamente el CO con el tiempo de explotación, así que los convierte en alternativas viables, pero en el largo plazo.

Contenidos de arena, limo y arcilla en los diferentes usos del suelo.

La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar).

Se registra que el menor contenido de arena en cada uno de los usos evaluados, corresponde a BS, con 52,0% de arena, seguido por el MON con un 62,80%, siendo similares y los sistemas con mayor porcentaje de arena en orden creciente fueron SSP, PS, este último presentó 72,40%, por encima de 20 puntos porcentuales comprado con BS (Tabla 4).

Los valores de % de Arena, limo y arcilla encontrados en los diferentes sistemas de uso según London (2014), clasificarían como Arenosa Franca para PAS, Franco Arenoso para SSP y MON y Franco-limoso para BS (Tabla 4), indicando que son

suelos de buena infiltración y baja resistencia a la penetración. Sin embargo, no se puede afirmar que en suelos arenosos no existe compactación, puesto que en valores $> 1.6 \text{ g/cm}^3$. Los resultados de porcentaje de arena, limo y arcilla para cada uno de los sistemas, puede llegarse a la conclusión que los suelos arenosos, son menos susceptibles a problemas de compactación que suelos arcillosos. Los bajos porcentajes de arcilla, pueden estar relacionados con procesos de iluviación de arcillas, o procesos de erosión característico de Inceptisoles (Jaramillo, 2002), asociados a las altas precipitaciones, donde el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo, también puede ocasionar sellamiento y dispersión de arcillas.

Tabla 4. Contenido de arena, limo y arcilla (%) en los diferentes usos del suelo.

Tratamiento	Arena (A)	Limo (L)	Arcilla (Ar)	Grado de textura
Pastura	72.40±2.90 ^b	23.20 1.71 ^{ab}	4.40±1.67 ^b	Arenosa- franca
Silvopastoril	70.00±2.90 ^b	20.40±1.71 ^a	9.60±1.67 ^{ab}	Franco- arenosa
Monocultivo	62.80±2.90 ^a ^b	29.20±1.71 ^b	7.60±1.67 ^{ab}	Franco -arenosa
Bosque	52.00±2.90 ^a	36.80±1.71 ^c	11.20±1.67 ^a	Franco- limosa

Error estándar = A:2.90, L:1.71, Ar:1.67. Medias con una letra diferente tienen una significancia ($p > 0,05$). Prueba de Tukey

Según Hakansson *et al.*, (1988) el sistema de preparación convencional del suelo ocasiona compactación subsuperficial, por la descompactación y movilización mecánica de arcillas, al mismo tiempo en que la carga aplicada presenta efecto acumulativo con los años, ocurriendo una alteración de partículas sin variación de su volumen. Los sistemas de manejo del suelo tienen gran influencia en sus propiedades físicas y están relacionadas con la compactación (Lima *et al.*, 2004; Streck *et al.*, 2004). El BS presentó diferencias significativas con los demás sistemas ($P < 0.05$), presentando valores ideales de porcentaje de arena limo y arcilla, clasificado como un franco limoso, indicando que de acuerdo con su textura es un sistema de más alta fragilidad.

El sistema radicular permite a las plantas sujetarse al suelo y adquirir agua y nutrientes necesarios para realizar sus funciones vitales, en primera instancia; al

mismo tiempo, desempeñan una función ecológica importante porque su estructura forma una especie de malla que protege al suelo, evitando que se desprenda ante los elementos que lo golpean; adicionalmente, al adherirse a sus partículas, lo mantienen unido, como si tuviese una especie de pegamento y, por último, absorben el exceso de agua que al acumularse debilita el terreno haciendo que se desprenda, como en el caso de las pendientes inclinadas (Valdés, 2010).

Efecto de humedad gravimétrica, volumétrica, lámina de agua y porosidad

Los usos BS, MON, SSP y PS no influenciaron ($P>0.05$), en la humedad gravimétrica, volumétrica y lámina de agua medidas a capacidad de campo, sin embargo, se puede notar que el BS, posee mayor almacenamiento de agua, (tabla 5). Según Tavares Filho y Tessier (2009), la compactación del suelo es más perjudicial en suelo seco, puesto que en condiciones de mayor contenido de agua puede haber crecimiento radicular en valores de resistencia del suelo a la penetración superiores a 4,0 MPa.

Tabla 5. Efecto de la humedad gravimétrica (Hwcc) y volumétrica (Hθcc), lámina de agua a capacidad de campo (Zcc), porosidad total (Pt) y macroporosidad (M).

Tratamiento	Hwcc (%)	Hθcc, m (%)	Zcc (mm)	Pt (%)	M (mm)
Bosque	29.20±3.47 ^a	33.78±4.16 ^a	67.42±8.13 ^a	56.39±1.03 ^b	22.61±8.13 ^a
Monocultivo	27.17±3.47 ^a	37.33±4.16 ^a	72.42±8.13 ^a	51.41±1.03 ^a	14.08±8.13 ^b
Silvopastoril	21.34±3.47 ^a	25.28±4.16 ^a	53.17±8.13 ^a	50.68±1.03 ^a	25.4±8.13 ^a
Pastura	17.42±3.47 ^a	23.84±4.16 ^a	49.89±8.13 ^a	50.29±1.03 ^a	26.47±8.13 ^a

Error estándar= Hwcc:3.47, Hθcc:4.16, Zcc:8.13, Pt: 1.03, M:8.13. Medias con letra diferentes son significantes ($p > 0,05$). Prueba de Tukey.

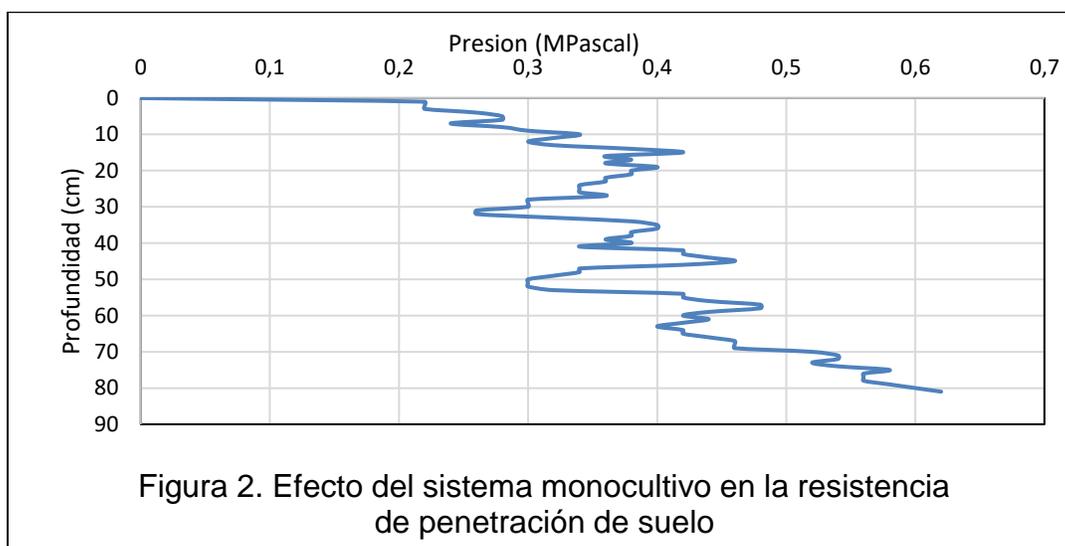
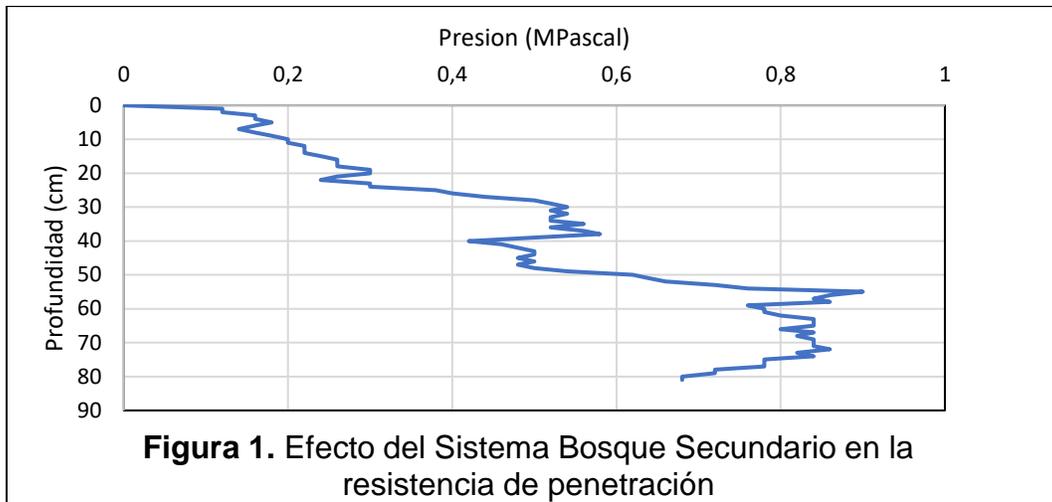
La mayor porosidad total ($P<0.05$), fue para BS con respecto a los demás, demostrando éste sistema ser un gran retenedor de agua, puesto que la microporosidad sobrepasa a la macroporosidad ($33.78 > 22.61\%$), el anterior comportamiento obedece al su cobertura, formando una mayor capa de materia orgánica, lo cual ejerce efecto en la porosidad y almacenamiento de agua en suelo, (Tabla 5). En un estudio sobre el efecto protector del bosque, encontraron que, la

materia orgánica es alta, así como hay bajas pérdidas de suelo y agua, en comparación los suelos labrados convencionalmente (Devine *et al.*, 2014). Una alta diversidad de especies arbóreas en el BS, aporta gran cantidad de materia orgánica, mejorándose también la cantidad de macroporos promotores del drenaje y aireación.

Sin embargo, a pesar de que el sistema SSP no presentó diferencias con los otros sistemas en las variables que tienen que ver con la humedad, se obtuvo un valor de Pt ideal del 50.68%, la cual está dividida en 25.28% de microporosidad, y 25.4% de macroporosidad, indicando que en este sistema los árboles ejercen influencia positiva en la pastura. Pignataro Netto *et al.*, (2009) no observaron diferencias en los valores de PT a diferentes profundidades, siendo muy bajos en pasturas de la región del Cerrado, coincidiendo con los de este estudio, ellos mencionan que posiblemente debido a la presencia de raíces vivas y descompuestas que dificultan la resistencia a la penetración. Por otra parte, en el MON, aunque presenta una Pt también cercana a la ideal, su macroporosidad es muy baja de 14,08%, cercana a 10, una $M < 10\%$, indica que puede existir restricciones para el desarrollo radicular de los cultivos, indicando algún grado de compactación (Tabla 5) (Batey y McKenzie, 2006). En el uso de MON, puede estar fallando la circulación de aire, se observa una alta susceptibilidad a la compactación en el corto plazo. Los sistemas intensivos están propensos a problemas de compactación, y baja infiltración de agua (Laureda *et al.*, 2016). Los factores que afectan la resistencia del suelo han sido identificados por diferentes investigadores y se han establecido escalas para interpretar la su condición para el desarrollo de la rizosfera, según el RP de la capa edáfica: sin restricciones ($0 \leq RP \leq 0,9$); leves restricciones ($0,9 < RP \leq 1,4$); moderadas a severas restricciones ($1,4 < RP \leq 2$); restrictivo para enraizamiento ($RP > 2$) (Zerpa *et al.*, 2013).

Se observó que la influencia del uso del suelo en los sistemas evaluados, la resistencia a la penetración (RP) a diferentes profundidades, puede afirmarse que ninguno presenta restricciones entre 20 a 80 cm, sin embargo, existen ligeros incrementos en resistencia a la penetración entre los 40 a 80 cm para todos los

sistemas, se compararon BS con MON, observándose comportamiento similar en estos dos sistemas y se pueden calificar “sin restricciones”, por lo tanto se considera que estos valores limitan el desarrollo radicular (Figuras 1 y 2).



Los resultados difirieron también de lo encontrado por Ralisch *et al.*, (2007), quienes estudiaron la RP en diferentes sistemas de manejo, determinando que este factor afecta las propiedades físicas de los suelos, influyendo en el crecimiento radical, la dinámica hídrica del suelo (infiltración, conductividad y almacenamiento), la captación de nutrientes y la emergencia de plántulas al momento de la siembra (Pariz *et al.*, 2017). Se ha confirmado que la RP es más apropiada que la Da para la determinación de capas limitantes al crecimiento radical, porque presenta mayor

sensibilidad en la detección de sectores diferenciados en grados de compactación, (Glab, 2011).

CONCLUSIONES

Las propiedades Da, RP y Macroporosidad, definieron que los sistemas de uso del suelo no presentan problemas de compactación, sin embargo, el sistema que mayor RP presentó fue PS con un promedio de 0.56 MPa hasta los 80 cm de profundidad y el sistema con mayor Da y Macroporosidad fue MON con un valor de 1.32 ± 0.30 g/cm³ y un contenido mayor 10% en los primeros 20 cm de profundidad respectivamente.

Los sistemas MON, PAS y SSP, presentaron texturas arenosas, indicando que son menos susceptibles a problemas de compactación. No obstante, el sistema de BS presenta textura franco limoso, considerándose un sistema frágil en perder sus condiciones ideales de suelo. El sistema BS presento las mejores condiciones físicas respecto a las variables DA y RP con valores de 1.15 gr/cm³ y 0,3 Mpa respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alakukku, L.; Weisskopf, P.; Chamen, W.C.T.; Tijink, F.G.J.; Van Der Linden, J.P.; Pires, S.; Sommerf, C.; Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic induced subsoil compaction: A review Part 1. Machine/ soil interactions. *Soil Till. Res.*, V: 73: 145-160. Disponible: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000093&pid=S0100-6916200900030001000001&lng=en
2. Andrade, P.; Upadhyaya S; Plouffe C; Poutre B. 2008. Development and field evaluation of a field-ready soil compaction profile sensor for real-time applications, *Appl. Eng. Agric.*, 24 (6): 743-750.
3. Batey T, McKenzie D.C. 2006. Soil compaction: identification directly in the field. *Soil Use and Management*, 22 (2): 123-131. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/227794719_Soil_compaction_Identification_directly_in_the_field
4. Bertol, I.; Schick, J.; Massariol, J, Reis, E.; Dily, I. 2000. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, 30: 91-95.
5. Blainski, E, Fidalski J, Tormenta C y Muylaert R. 2008. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 32: 975-983. Disponible:

- https://www.researchgate.net/publication/250033965_Quantificacao_da_degradacao_fisica_do_solo_por_meio_da_curva_de_resistencia_do_solo_a_penetracao
6. Cairo P, Reyes, A, Aro, R, Robledo, L. 2017. Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40 (2): 127-134.
 7. Camargo O., Alleoni, L. 1997. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 132 p.
 8. Devine, S.; Markewitz, D.; Hendrix, P.; Coleman, D. 2014. Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. *PLoSOne*. 9 (1):1-12.
 9. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
 10. Fageria N, Baligar V. 2008. Chapter 7 Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99: 345-399.
 11. FOLONI, J., CALONEGO, J.; DE LIMA, S. 2003. Efecto de la compactación del suelo en desenvolvimiento aéreo y radical de cultivos de Brasilia. *Revista Agropecuaria Brasileira*, 38 (8): 947-953.
 12. Food and Agriculture Organization (FAO). 2015. Carta mundial de los suelos. 12 p. Disponible: <http://www.fao.org/soils-2015/resources/fao-publications/es/>
 13. Food and Agriculture Organization (FAO). 2016. Estado Mundial del Recurso Suelo (Resumen Técnico). Roma. 92 p. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
 14. Glab, T. 2011. Effect of Soil Compaction on Root System Morphology and Productivity of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 20 (6): 1473-1480.
 15. González, L, Casanoves M, Di Rienzo F, Robledo J, Carlos W. Corporativo: Grupo InfoStat, InfoStat, versión 2008. Manual del usuario. Córdoba (Argentina). P.imprenta: Editorial Brujas. 334 p.
 16. Hakansson, I.; Voorhees, W.R.; Riley, H. 1988 Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil and Tillage Research, Amsterdam*, 11: 239-282.
 17. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 6ª Ed. 2006. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá D.C., Colombia: IGAC.
 18. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2013. Guía de muestreo [en línea]. Bogotá D.C., Colombia: IGAC. Disponible en: <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guademuestreo.pdf>
 19. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2014. Manejo de suelos colombianos. Bogotá D.C., Colombia: IGAC.
 20. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1ª Ed. 2015. Suelos y tierras de Colombia. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C., Colombia: IGAC.
 21. Jaramillo D. 2002. Introducción a la Ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 619 p. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
 22. Laureda, D, Botta, G, Tolon A, Rosatto. 2016. Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina. *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo* [online]. 48: 1: 79-99.
 23. Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*. 7: 5875-5895. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/5875>

24. Lima, C., Silva, A.; Imhoff, S y Leão, T. 2004. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, 28 (6): 945-951. Disponible en: <https://www.rbcjournal.org/article/soil-compressibility-under-non-irrigated-andhttp://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600002>
25. London JR (Ed.) 2014. Booker Tropical Soil manual and handbook for soil survey an agricultural. Land evaluation in the tropics and subtropics. New York and London. 465 p. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=xse2AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=P1&dq=USDA.+ \(2014\). +Soil+Survey+Manual.+Washington+DC:+USDA.&ots=zUJCsYoJP4&sig=E2vZsoa78n6TTrRbzaoM9RbnX5c#v=onepage&q=USDA.%20\(2014\).%20Soil%20Survey%20Manual.%20Washington%20DC%3A%20USDA.&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=xse2AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=P1&dq=USDA.+ (2014). +Soil+Survey+Manual.+Washington+DC:+USDA.&ots=zUJCsYoJP4&sig=E2vZsoa78n6TTrRbzaoM9RbnX5c#v=onepage&q=USDA.%20(2014).%20Soil%20Survey%20Manual.%20Washington%20DC%3A%20USDA.&f=false)
26. Luciano, R, Adriano J, Da Costa A, Batistella B, Warmling M. 2012. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, 36 (6): 1733-1744 Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n6/07.pdf>
27. Lüscher A, Mueller I, Soussana J, Rees R, Peyraud J. 2014. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Science*, 69 (2): 206-228.
28. Mckenzie, R. H.; Research, S.; Agricultural Soil Compaction: Causes and Management, 2010. Alberta Agriculture and Rural. Consultado: 28/09/2018. Disponible en: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331/\\$file/510-1.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331/$file/510-1.pdf?OpenElement)
29. Medina, C. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. remediaciones. (Nota Corta). *Rev Colombiana Cienc Anim*, 8 (1):88-93.
30. Ministerio de Trabajo de Colombia (Mintrabajo). 2013. Perfil productivo Del municipio de Puerto López. 97 p. Disponible: <https://www.meta.gov.co/web/sites/default/files/ormet/2013/2.%20PERFIL%20PRODUCTIVO%20MUNICIPIO%20DE%20PUERTO%20LOPEZ.pdf>
31. Mouazen, A., Ramos H. 2009. Expanding implementation of an on-line measurement system of topsoil compaction in loamy sand, loam, silt loam and silt soils, *Soil & Tillage Research*, 103: 98-104.
32. Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, A., Zouahri, M., Mourid, E., Van Ranst, E. 2014. Tillage system affects soil organic carbon storage and quality in Central Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*. Article ID 654796 doi: 10.1155/2014/654796.
33. Mur M, Balbuena R. 2014. Compactación de un suelo argiudol típico por tráfico en un sistema de producción de forrajes. *Cienc. Suelo*, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 32 (1): 1-12. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/374462>
34. Noruega, M. A., Vélez, J. A. 2011. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. Nariño: *Revista de ciencias Agrícolas*.
35. Orellana G, Ortega S., Moreno, A. 2008. Fracción orgánica ligera del suelo como indicador agroecológico. *Revista de Agricultura Orgánica*, 2: 40-41.
36. Palosuo, T. 2008. Soil carbon modelling as a tool for carbon balance studies in forestry. *Dissertationes Forestales 61* Department of Forest Ecology. Faculty of

- Agriculture and Forestry. University of Helsinki, 60 p. Disponible en: <https://www.dissertationesforestales.fi/pdf/article1843.pdf>
37. Pariz, C, Costa, C, Crusciol, A, Meirelles, P, Castilhos, A, Andreotti, M, Costa, N., Martello, J, Souza, D, Protes, V, Longhini, V y Franzluebbbers, A. 2017. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 108: 35-54.
 38. Parra A, de Figueiredo E, de Bordonal, R. *et al.*, 2019. Greenhouse gas emissions in conversion from extensive pasture to other agricultural systems in the Andean region of Colombia. *Environment Development and Sustainability* 21: 249.
 39. Pignataro Netto, I; Kato, E; Goedert, W. 2009. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 3: 1441-1448.
 40. Ralisch, R; Miranda, T; Okumura, R; Barbosa, G; Guimarães, M.; Scopel, E.; Balbino, L. 2007. Resistência a penetração de um latossolo vermelho amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12 (4): 381-384.
 41. Rodríguez, M. 2016. Stock de carbono del suelo, a escala local, en ocho sistemas de uso agrícola del piedemonte llanero, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados Doctorado en Ciencias Agrarias, Palmira, Colombia, 140 p. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/51731/1/PhD.Maryory_mayo.pdf
 42. Silva, G, Lima H., Campanha, M., Gilkes, R., Oliveira, T. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, 167-168: 61-70. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46818/1/API-Soil-physical.pdf>
 43. Streck, C. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M., Kaiser, D. R. 2004. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *C. Rural*, 34: 755-760.
 44. Tavares Filho, J.; Tessier, D. 2009. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1525-1533.
 45. Valdés, A. 2010. Cómo controlan la erosión las raíces de las plantas. (Editorial), *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*, 23: 2. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num2/articulos/erosion/>.
 46. Zerpa, G.; Sosa, O.; Berardi, J.; Bolatti, J. P.; Galindo, A., Maldonado, J. 2013. La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*, 35: 64-68.

Comportamiento agronómico y calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* en un ecosistema de sabana inundable en Casanare, Colombia

Agronomic behavior and nutritional quality of *Tithonia diversifolia* in a flooded savannah ecosystem in Casanare, Colombia

Comportamento agrônômico e qualidade nutricional de *Tithonia diversifolia* em um ecossistema de savana inundada em Casanare, Colômbia

Eduardo Alberto Fernández Pérez¹ y Maria Ligia Roa Vega²
¹Médico Veterinario Zootecnista, Universidad de los Llanos y
²Zootecnista, Esp. MSc. Docente Universidad de los Llanos

mroa@unillanos.edu.co

Recibido 02 de marzo de 2019, Aceptado 04 de mayo de 2020

RESUMEN

El ecosistema de sabana inundable en Paz de Ariporo, Casanare, Colombia se caracteriza por ser una llanura aluvial que dura de seis a ocho meses inundada, donde se encuentra una gran biodiversidad acuática y terrestre, por lo tanto, es un ambiente propicio para la implantación de nuevas especies forrajeras con buen valor nutritivo para las producciones pecuarias, como lo es el botón de oro o árnica (*Tithonia diversifolia*). El presente estudio se adelantó bajo los parámetros de la investigación cuantitativa y de tipo experimental, donde se empezó sembrando un vivero con 1000 estacas de árnica, para luego llegar a cubrir un área de 1000 m² con árnica en una densidad de siembra de 1 m x 1 m. En ambas etapas, tanto en vivero como en campo se realizó toma de datos de las siguientes variables: porcentaje de germinación, porcentaje de supervivencia, número de días al primer rebrote, alto de la planta, análisis nutricional; con el fin de evaluar su comportamiento en un ecosistema de sabana inundable. Los resultados indican un mejor comportamiento agronómico del material vegetal con adición de abono orgánico en cuanto a las variables observadas, sin embargo, en algunos casos no alcanza a ser significativa la diferencia, aunque comparado con otros estudios el botón de oro es visto como excelente alternativa forrajera para alimentar al ganado

bovino. El porcentaje de germinación fue del 92%, en vivero y en campo fue del 97.5%; además el tratamiento uno con CaO demostró mejor comportamiento en cuanto a altura de la planta, alcanzando en promedio las plantas de 115 cm.

Palabras clave: Arbustivas, zona tropical, comportamiento agronómico.

ABSTRACT

The flooded savannah ecosystem in Paz de Ariporo, Casanare, Colombia is characterized by being an alluvial plain that lasts six to eight months flooded, where there is a great aquatic and terrestrial biodiversity, therefore, it is an environment conducive to the implantation of new forage species with good nutritional value for livestock production, such as buttercup or arnica (*Tithonia diversifolia*). The present study was carried out under the parameters of quantitative and experimental research, where a nursery was planted with 1000 stakes of arnica, to later cover an area of 1000 m² with arnica at a planting density of 1 m x 1 m. In both stages, both in the nursery and in the field, data was collected on the following variables: germination percentage, survival percentage, number of days to first regrowth, plant height, nutritional analysis; in order to evaluate its behavior in a flooded savannah ecosystem. The results indicate a better agronomic behavior of the plant material with the addition of organic fertilizer in terms of the variables observed, however, in some cases the difference is not significant, although compared to other studies the buttercup is seen as an excellent alternative. fodder to feed cattle. The germination percentage was 92%, in the nursery and in the field, it was 97.5%; In addition, treatment one with CaO showed better behavior in terms of plant height, with plants reaching an average of 115 cm.

Keywords: Shrubs, tropical zone, agronomic behavior.

RESUMO

O ecossistema de savana inundada em Paz de Ariporo, Casanare, Colômbia é caracterizado por ser uma planície aluvial que dura de seis a oito meses inundada, onde há uma grande biodiversidade aquática e terrestre, portanto, é um ambiente

propício para a implantação de novas forrageiras espécies com bom valor nutricional para a produção pecuária, como o botão de ouro ou a arnica (*Tithonia diversifolia*). O presente estudo foi realizado sob os parâmetros de pesquisa quantitativa e experimental, onde foi plantado um viveiro com 1000 estacas de arnica, para posteriormente cobrir uma área de 1000 m² com arnica na densidade de plantio de 1 m x 1 m. Em ambas as etapas, tanto no viveiro quanto no campo, foram coletados dados sobre as seguintes variáveis: porcentagem de germinação, porcentagem de sobrevivência, número de dias para a primeira rebrota, altura de planta, análise nutricional; a fim de avaliar seu comportamento em um ecossistema de savana inundada. Os resultados indicam um melhor comportamento agrônômico do material vegetal com a adição de adubo orgânico em relação às variáveis observadas, porém, em alguns casos a diferença não é significativa, embora comparado a outros estudos o botão de ouro seja visto como uma excelente alternativa. para alimentar o gado. A porcentagem de germinação foi de 92%, no viveiro e no campo foi de 97.5%; Além disso, o tratamento um com CaO apresentou melhor comportamento em termos de altura de plantas, com plantas atingindo em média 115 cm.

Palavras-chave: Arbustos, zona tropical, comportamento agrônômico.

INTRODUCCIÓN

En el ecosistema de sabana inundable, las ofertas forrajeras son mínimas, y las especies que existen no tienen la capacidad de producir una cantidad de biomasa útil para ser aprovechada por los rumiantes; además la adecuación de grandes extensiones de terreno para el cultivo de pasturas, resulta muy costoso y no es práctico, puesto que en esta región la mayoría de sistemas están basados en una ganadería extensiva, y el desocupar un área determinada por un periodo de tiempo de tal magnitud representa numerosas pérdidas para el productor. Además, se sabe que, aparte de la influencia del ambiente en sí, la nutrición es uno de los factores que afectan a los animales por la baja calidad nutricional de los pastos nativos que se encuentran en este ecosistema, lo cual no es suficiente para

mantener los estándares de producción y mucho menos lograr la introducción de nuevo material genético a las ganaderías (Mora *et al.*, 2015).

Por ende, para la adecuada nutrición de la ganadería en esta región es necesario incorporar nuevas forrajes en el medio, y más aún con contenidos proteínicos superiores a la de los pastos nativos, con el fin suplir adecuadamente los requerimientos del ganado; el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es una especie que se ha adaptado a las condiciones del Piedemonte del Meta funcionando muy bien para ser cultivada y cosechada como forrajera de corte y acarreo, lo que disminuiría el uso de terreno casi en un 90%, frente a una posible siembra de pasturas (Peñuela y Fernández, 2010).

Tithonia diversifolia es una buena fuente de proteína forrajera, con facilidad de adaptación al medio. En Colombia esta planta crece en diferentes condiciones agroecológicas desde el nivel del mar (30°C) hasta los 2.500 msnm (10°C) y se adapta a distintos tipos de suelos de neutros a ácidos y desde fértiles hasta muy pobres en nutrientes (Ríos, 1997). La propagación puede realizarse por estaca, utilizándose estacas de 20 a 30 cm de largo, de la parte media de tallos verdes, lo que permite un enraizamiento rápido. La semilla puede sembrarse en semillero o directamente en el campo (Gómez *et al.*, 2009). En un ensayo en el cual se evaluó el número de raíces y porcentaje de prendimiento 15 días después de la siembra, de estacas procedentes de diferentes partes del tallo, se encontró un 94% de prendimiento en estacas tomadas de la parte más leñosa y 58% en las procedentes de la parte media. El número de raíces fue de 4.25 y 3.5 respectivamente (Ríos, 2002).

El objetivo de este trabajo fue observar el desarrollo agronómico y establecimiento de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) desde su siembra en vivero hasta el trasplante a campo, observando su comportamiento en el ecosistema de sabana inundable.

METODOLOGÍA

Localización

El estudio se realizó en la finca La Victoria, vereda Aguaverde del municipio de Paz de Ariporo (Casanare), ubicada a 87 km del casco urbano por la vía a la vereda caño chiquito con una altitud de 272 msnm temperatura promedio de 26.2°C, precipitación anual de 2684 mm y humedad relativa varía entre el 70 y 90% (IDEAM, 2014).

Procedimiento experimental siembra y establecimiento

Se llevó a cabo la siembra en vivero de 100 estacas de *Tithonia diversifolia* (material vegetal) adquiridas en la Universidad de los Llanos sede Barcelona, de 25 cm de largo, 2 cm de diámetro y con no menos de dos nudos. La siembra se realizó en bolsas plásticas negras con capacidad de dos kg, con material orgánico distribuido en relación 2/1 tierra del sitio donde se va a sembrar en campo y abono orgánico (pollinaza) respectivamente. En esta etapa de vivero se observó diariamente las plantas germinadas, evaluando el porcentaje de germinación.

El vivero se estableció bajo un árbol que permitía la entrada de luz y a su vez la protegía de la fuerte radiación solar en las horas de la tarde. Las plántulas fueron regadas en las horas de la mañana, llevando a cabo bombeo de moto bomba y manguera de 2 pulgadas, a las 6 am, por espacio de 15 minutos. Las plántulas fueron trasplantadas a un lote después de los 60 días de permanecer en vivero. Una vez trasplantadas las estacas de botón de oro en campo se inició con el conteo de días al primer rebrote de la plántula, cabe resaltar que desde ese momento empezó la toma de datos para el tratamiento 1 (con abono orgánico "CAO") y tratamiento 2 (sin abono orgánico "SAO"). Igualmente se empezó a medir la altura de la planta (cm) con una evaluación cada siete días, durante seis semanas.

El manejo que se realizó al cultivo en campo fue de un riego diario, algunos días en la mañana y otros días en la tarde, regando 15 minutos en cada tratamiento. El terreno utilizado fue de 100 m², dónde se hicieron 80 huecos de 20 cm de ancho x 20 cm de largo x 20 cm de profundidad. Allí, para homogenizar el grupo, sólo se plantaron 80 plántulas de las 98 de vivero. Estas 80 plántulas se dividieron de

igual forma en 2 grupos (tratamiento 1) 40 sembradas en relación 2:1 con materia orgánica del terreno y abono orgánico (pollinaza) y (tratamiento 2) 40 sembradas con solo materia orgánica del terreno.

VARIABLES EVALUADAS EN EL PRIMER CORTE

Se realizó un corte de las plantas a los 50 días de haber trasplantado la estaca al terreno, para hacer el corte del material vegetal tomando muestras de nueve plantas de cada tratamiento elegidas al azar, para mezclar este material y conformar una muestra representativa para ser llevadas al laboratorio para el análisis nutricional de los siguientes componentes: materia seca, proteína, almidón total, carbohidratos, carbohidratos no estructurales, ceniza, grasa, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), nutrientes digestibles totales (NDT), digestibilidad de la materia seca (DMS), energía bruta (EB) energía digestible (ED), energía metabólica (EM) y minerales como: calcio, fósforo, azufre y cobre.

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, primer rebrote de la plántula, porcentaje de supervivencia, número de días al primer rebrote, altura de la planta y calidad nutricional. En el análisis estadístico se aplicó una prueba T-Student para el análisis de las variables comportamiento en vivero, campo y calidad nutricional cuyo modelo estadístico es:

$$T = X / (\sigma / \sqrt{n})$$

Prueba **T** de una única variable, donde **X** es la media de la muestra de los datos, **n** es el tamaño de muestra, y **σ** es la desviación estándar de la población.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se llevó a cabo en ecosistema de sabana inundable en Casanare, cuyo suelo posee unas características químicas como un pH bajo (4.9), característico del suelo ácido, con bajas concentraciones de aluminio (0.50), magnesio (0.70), potasio (0.11), materia orgánica (1%), y sodio (0.01), aunque posee niveles medios de calcio (2.30), por lo que el desarrollo de cultivos en estas tierras es limitado (Fundación Natura *et al.*, 2017) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis químico de suelo del terreno utilizado para el estudio en Paz de Ariporo

Municipio: Paz de Ariporo					Departamento: Casanare						
Finca: Clara Luz					Vereda: Gaviotas						
Muestra Lab. No.	Ident. de campo				Text Tacto	M O %	P ppm			pH 1:1	
500					FArA	1.0	12.8			4.9	
Cationes meq/100g suelo						Cationes (ppm)					
Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S	
0.50	2.30	0.70	0.11	0.01	----	----	----	----	----	----	

Fuente: Laboratorio de suelos UNILLANOS.

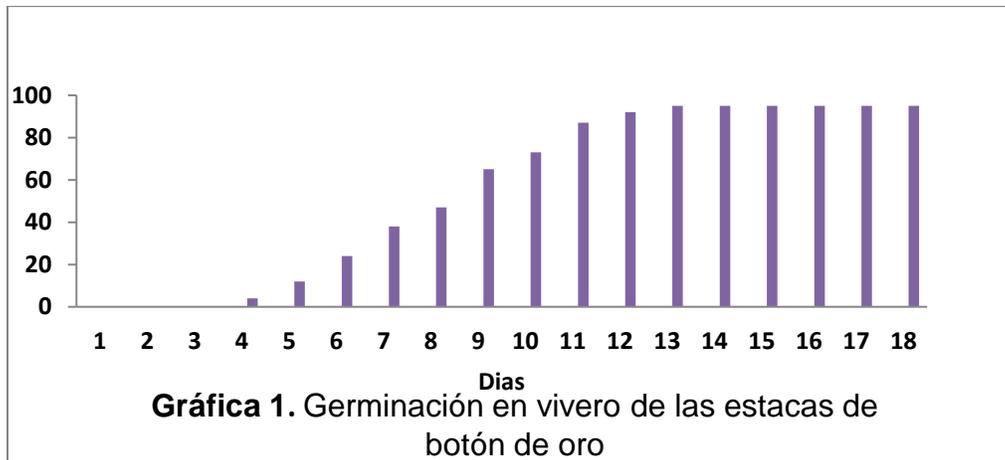
Al comparar este análisis de suelo (Tabla 1) con el de Villavicencio presentado por Silva *et al.*, (2017) quienes encontraron en Villavicencio un suelo con Al 0.81, Na 0.88, K 0.92 y Ca 0.97, se identifica que el de Paz de Ariporo posee menos nutrientes, por lo cual la pollinaza juega un papel importante en la fertilización.

Porcentaje de germinación

De las 100 estacas sembradas, geminaron 95 (Gráfica 1), las primeras cuatro germinaron al cuarto día de siembra, del quinto al decimosegundo día incrementó paulatinamente la germinación de las plantas pasando de 12 en a 92, aunque en el décimo tercer día germinaron otras tres; no obstante se siguió observando hasta el día 18 sin que existiese cambio, por lo tanto el porcentaje de germinación de las estacas de *Tithonia diversifolia* en condiciones de vivero, con relación 2/1 tierra del sitio donde se sembró en campo y abono orgánico es del 92% (Gráfica 1), siendo este un porcentaje muy alto puesto que González *et al.*, (2014) en su trabajo aseguran que esta planta posee un porcentaje muy bajo de germinación; así mismo Saavedra *et al.*, (2011) manifiestan que sólo lograron alcanzar niveles máximos de 13% de germinación, en el caso de Muoghalu y Chuba, (2005) encontraron un 16,3% de germinación.

No obstante estudios como el realizado por Romero *et al.*, (2014) han obtenido resultados, parecidos a los de la presente investigación, cuando han sembrado en vivero plántulas para el trasplante a partir de semillas clasificadas como viables. Todo ello permite inferir que las propiedades fisicoquímicas del suelo usado en la

siembra de la estaca son propias para fomentar su germinación, siendo esto propicio para generar material vegetal en ecosistema de sabana inundable en Casanare donde se pueda alimentar los vacunos.



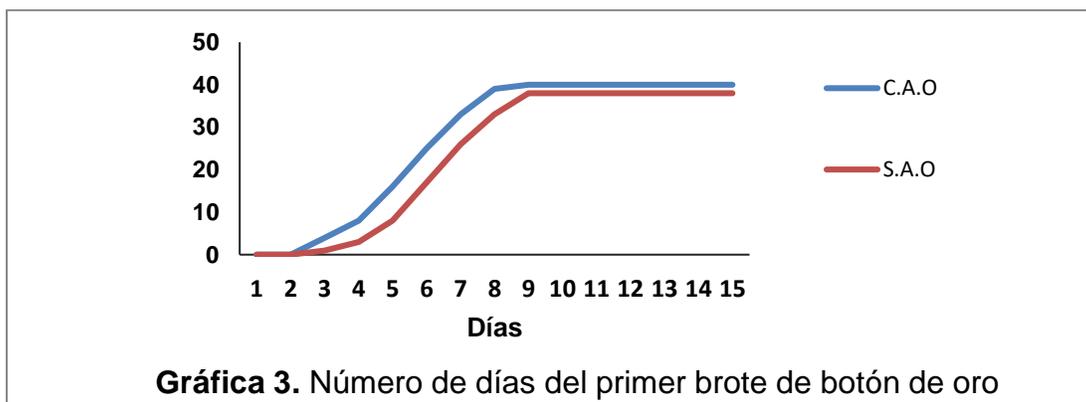
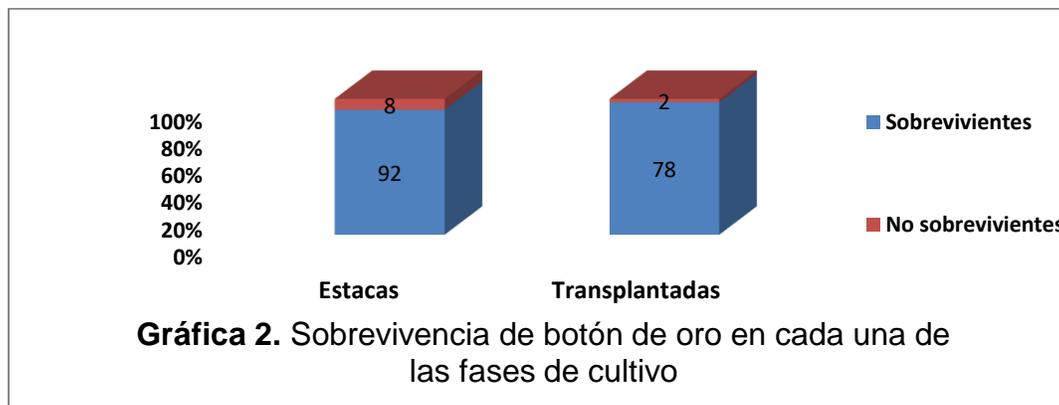
El porcentaje de sobrevivencia

En invernadero germinó el 92% de las estacas plantadas, puesto que no germinaron 8 plántulas, las cuales no son consideradas para el estudio. De la misma forma, se llevó el conteo de supervivencia del material vegetal trasplantado, encontrando que el 97.5% sobrevivió, pues sólo hubo dos plantas que no sobrevivieron luego de germinar; no obstante, el porcentaje de supervivencia es alto de este material vegetal en ecosistema de sabana inundable en Casanare (Gráfica 2). Estos resultados se pueden explicar en lo manifestado por Páez *et al.*, (2009) quienes le atribuyen a la multiplicación por estacas de plantas herbáceas una producción de enraizamiento más eficaz, supeditadas a las óptimas condiciones de corte y siembra, lo que influye en un alto porcentaje de supervivencia.

Número de días al primer rebrote

Para evaluar el número de días al primer brote se tomaron datos todos los días una vez fueron trasplantados los dos tratamientos, T1 (CAO) y T2 (SAO). Las plantas de *Tithonia diversifolia* con abono orgánico y sin abono empezaron a realizar su primer rebrote al tercer día después del trasplante al ecosistema de

sabana inundable en Casanare, se observaron durante seis días más hasta que las plantas terminaron de realizar el primer rebrote (Gráfica 3), sin existir diferencia significativa. Es de anotar que sólo dos plantas sin abono orgánico llegaron a esta etapa; no obstante, es alto el porcentaje de rebrote de *Tithonia diversifolia* en ecosistema de sabana inundable en Casanare, actuando de una forma más eficaz con la adición de abono orgánico (Tabla 2).



Alto de la planta

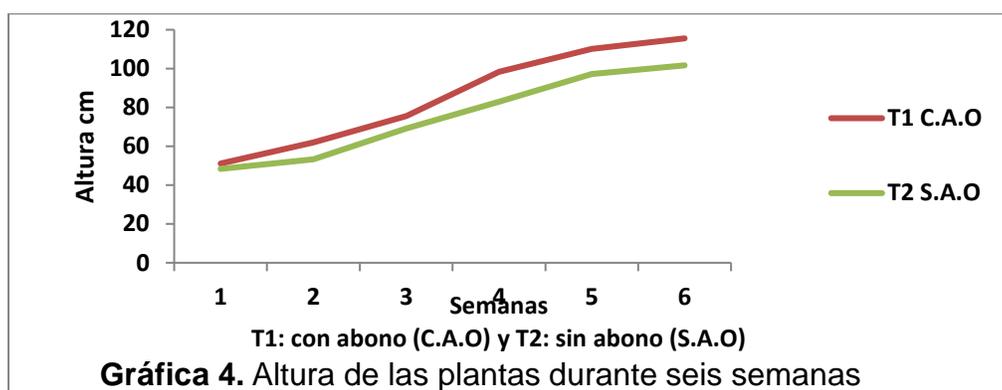
La variable altura de la planta se midió desde el primer día de trasplante. El tratamiento uno (CAO) fue el que demostró mejor comportamiento en esta variable, pues desde la primera semana estas plantas alcanzaron una mayor altura a las del tratamiento 2 (SAO) (Gráfica 4). Los dos tratamientos tuvieron un crecimiento moderado las dos primeras semanas, el cual se incrementó entre la tercera y quinta semana, volviendo a regularse a partir de la sexta semana, alcanzando en promedio las plantas del T1 115 cm de altura y las del T2 102 cm

aproximadamente, no obstante, estos resultados, no alcanzan diferencia significativa de acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 3).

Tabla 2. Primeros rebrotes en campo (%) de botón de oro en Paz de Ariporo, Casanare

Días rebrote	Botón de oro con abono	Botón de oro sin Abono
5	5,60 ^a	2,40 ^a
10	35,40 ^a	30,40 ^a
15	40 ^a	38 ^a

Letras diferentes en la misma fila indican significancia ($P < 0,05$).



De acuerdo con González *et al.*, (2014) y Pérez *et al.*, (2009) estas plantas alcanzan en su plenitud entre 1.5 y 4 m de alto, y considerando que el estudio sólo tuvo en cuenta las primeras seis semanas de trasplante, siendo un material vegetativo joven, se espera que siga creciendo, sin embargo esta altura es buena para ser cortada y utilizada en la alimentación de bovinos tal como lo ha comprobado Ríos, (1998) y Ekeocha, (2012) teniendo en cuenta que este último autor comprobó que se puede fabricar harina de hojas de botón de oro nutritiva a partir de plantas cosechadas a 50 cm de altura después de cuatro semanas de rebrote.

Análisis nutricional en un ecosistema de sabana inundable

Para el análisis proximal se hizo un corte de las plantas, y de allí se esperó 50 días para hacer el corte del material vegetal, en donde se tomaron muestras de 9 plantas de cada tratamiento elegidas al azar. Para este análisis se hicieron tres

repeticiones por tratamiento, que se identificaron así: T1M1, T1M2, T1M3 y T2M1, T2M2, T2M3.

Tabla 3. Altura del botón (cm) en campo en Paz de Ariporo Casanare, Sabana inundable

Semana	Botón De Oro con abono	Botón De Oro sin Abono
1	56,33 ^a	48,33 ^a
2	61,00 ^a	50,33 ^a
3	79,00 ^a	66,66 ^a
4	100,00 ^a	84,33 ^a
5	106,33 ^a	96,66 ^a
6	116,33 ^a	101,33 ^a

Letras diferentes en la misma fila indican significancia ($P < 0,05$).

Con respecto al análisis de varianza de calidad nutricional del material sembrado en Paz de Ariporo Casanare, sabana inundable, se pudo identificar que el botón de oro con abono orgánico expresó un mejor comportamiento en general, aunque fue significativamente mejor en contenido de proteína, nutrientes digestibles totales (NDT) y digestibilidad de materia seca (Tabla 4).

Tabla 4. Calidad nutricional del botón sembrado en Paz de Ariporo Casanare, sabana inundable

Nutriente	Botón con abono	Botón sin abono
Materia seca	92,56 ^a	92,64 ^a
Proteína	29,14 ^a	27,70 ^b
Almidón Total	5,06 ^a	5,15 ^a
Carbohidratos	0,97 ^a	1,17 ^a
Carbohidratos no estructurales	6,04 ^a	6,33 ^a
Ceniza	13,20 ^a	12,12 ^a
Grasa	2,14 ^a	2,12 ^a
Fibra Detergente Neutro (FDN)	30,63 ^a	31,11 ^b
Fibra Detergente Ácido (FDA)	14,20 ^a	14,47 ^a
Nutrientes digestibles torales (NDT)	71,70 ^a	70,52 ^b
Digestibilidad de la materia seca	78,24 ^a	76,97 ^b
Energía Bruta	4,15 ^a	4,17 ^a
Energía Digestible	3,24 ^a	3,22 ^a
Energía Metabólica	2,71 ^a	2,66 ^a

Letras diferentes en la misma fila indican significancia ($P < 0,05$).

Pese a que el material vegetal sin abono reportó mejor registro en materia seca, almidón total, carbohidratos y energía bruta, los resultados no representan diferencia significativa, por lo tanto, el tratamiento 1 (CAO) es el que genera mejor calidad nutricional. Estos resultados son superiores al estudio realizado por Ríos, (1998) aunque en algunas variables no superan los resultados alcanzados por Gallego *et al.*, (2014), quienes investigaron el potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* a 60 días de edad en la producción de vacas lecheras, no obstante, es recomendable plantar *Tithonia diversifolia* en ecosistema de sabana inundable en Casanare con abono orgánico, para ser utilizado posteriormente como alimento para bovinos. En cuanto a minerales se puede observar mayor presencia de estos nutrientes en el material vegetal sembrado con abono orgánico, sin embargo, el análisis de varianza tampoco demuestra diferencia significativa, por lo cual da lo mismo adicionar o no abono orgánico al suelo para obtener mayores minerales en *Tithonia diversifolia* (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de minerales del botón de oro en Paz de Ariporo Casanare

Mineral	Botón con abono	Botón sin abono
Calcio	1,03 ^a	1,00 ^a
Fosforo	0,32 ^a	0,30 ^a
Azufre	0,23 ^a	0,22 ^a
Cobre	9,26 ^a	9,22 ^a

Letras diferentes en la misma fila indican significancia ($P < 0,05$).

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar en vivero y campo diferentes variables de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) identificando que en condiciones de vivero el porcentaje de germinación es del 92%, el porcentaje de supervivencia fue del 92% y en el campo fue del 97.5%; además el tratamiento uno (T1 CAO) demostró mejor comportamiento en cuanto a altura de la planta, alcanzando en promedio las plantas de 115 cm de altura, sin embargo no alcanza a existir diferencia significativa entre los dos tratamientos.

Con respecto al análisis proximal de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) sembrada en un ecosistema de sabana inundable en Paz de Ariporo Casanare, éste permitió

evidenciar que el material vegetal con abono orgánico expresó un mejor comportamiento en general, siendo significativamente mejor en calidad nutricional. Por lo tanto, con la presente evaluación del desarrollo agronómico y establecimiento de *Tithonia diversifolia* se pudo comprobar que este material vegetativo, al sembrarse en vivero y luego trasplantarse a campo, se adapta al ecosistema de sabana inundable en Paz de Ariporo (Casanare).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcaldía de Paz de Ariporo. 2015. Plan de Desarrollo Municipal Paz de Ariporo, vigencia 2016-2019. [En línea] Recuperado en abril de 2018, de cdim.esap.edu.co/bancomedios/.../pazdeariporocasanarepd20122015.pdf
2. Alcaldía de Paz de Ariporo. 2012. Plan de ordenamiento y desarrollo territorial (POT) (2012 – 2015). Paz de Ariporo, Casanare.
3. AOAC. 2005. Official Methods of Analysis (18th). Arlinton, VA. Washington, Association of Official Analytical Chemists.
4. Echeverría, J. M., Triana, D. E., Roa, M. L. 2014. Efecto de la suplementación con silo de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en ovinos de ceiba en pastoreo con *Brachiaria* Spp. *Rev Sist Prod Agroecol*, 5 (2): 44-58.
5. Fundación Natura, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol. 2017. El manejo sostenible del suelo, Clave para adaptarnos al cambio climático. Bogotá: La imprenta Editores.
6. Fundación Puerto Rastrojo. 2005. Caracterización ecológica rápida corregimiento la Hermosa, municipio de Paz de Ariporo, departamento de Casanare, Colombia. WWF, Colombia y Unidad Administrativa Especial del sistema de Parques Nacionales Naturales (Bogotá Colombia). Informe Final. Bogotá, Colombia.
7. Gallego, L A., Mahecha, L., Angulo, J. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agron. Mesoam.* 25 (2): 393-403. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43731480017>
8. González, J. C., Hahn von, C. M., Narváez, W. 2014. Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 18 (2): 45-58. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682014000200004&lng=en&tlng=es
9. Ipou, J., Toure, A., Adou, L.M., Kouame, K.F., Gue, A. 2011. A new invasive species of the agrosystems in the south of Côte d'Ivoire: *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Asteraceae). *African Journal of Food Science and Technology*, 1 (6): 146-150.
10. Mahecha, L., Rosales, M. 2006. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*, 17 (9). Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/valor-nutricional-follaje-de-tithonia-diversifolia-t26693.htm>
11. Mahecha L., Escobar, J. P., Suárez, J. F., Restrepo, L. F. 2007. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*, 19 (2).
12. Mora, C., Peñuela, L., Castro, F. 2015. Estado del conocimiento de los ecosistemas de las sabanas inundables en la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia*, 19 (2): 253-271. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092015000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es
13. Montoya, J.V., Castillo, M.M., Sánchez, L. 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos Tropicales: Estudios en la Cuenca del Orinoco. *Interciencias*, 36 (12): 900-907. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921507006>
14. Muoghalu, J., Chuba, D. 2005. Seed germination and reproductive strategies of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray and *Tithonia rotundifolia* (p.m) Blake. *Appl. Ecol. Environ. Res.* (3): 39-46. Recuperado de http://www.aloki.hu/pdf/0301_039046.pdf
15. Peñuela, L., Fernández, A. P. 2010. La ganadería ligada a procesos de conservación en la sabana inundable de la Orinoquia. *Orinoquia*, 14 sup (1): 5-17. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89622691002>
16. Ríos, C.I. 2002. *Tithonia diversifolia*, (hemsl.) Gray una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.fao.org/livestock/agap/frq/agrofor1/Rios14.htm>
17. Ríos, C.I. 1997. Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. 2ª Edición. Colciencias - CIPAV. Cali, Colombia p. 115-126.
18. Romero, M., Galindo, G., Otero, J., Armentaras, D. 2004. Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 189 p.
19. Romero, M., Galindo, A., Murgueitio, E., Calle, Z. 2014. Primeras experiencias en la propagación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) a partir de semillas para la siembra de sistemas silvopastoriles intensivos en Colombia. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* (17): 525-528. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/939/93935728011/>
20. Saavedra, S., Cotes, J., Cuartas, J., Naranjo, J. 2011. Avances en la caracterización fisiológica de la semilla sexual de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* (24): 511.
21. Sánchez, L. M., Hernández, D. M., Sánchez, H. V. 2014. Dinámica de la germinación y agrotecnia para un eficiente desarrollo del botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Rev Sist Prod Agroecol*, 5 (2): 59-81.

Evaluación y tratamiento polimodal del dolor musculoesquelético y abdominal en equinos

Evaluation and polimodal treatment of pain skeletal and abdominal muscle in equines

Avaliação e tratamento polimodal da dor muscular esquelética e abdominal em equinos

Reyes Cardona Daniela¹ y Jaramillo Hernández Dumar Alexander²

¹Médico Veterinario y Zootecnista, Universidad de los Llanos y

²MVZ, Esp. MSc. PhD^(c), Docente Universidad de los Llanos

daniela.reyes@unillanos.edu.co

Recibido 24 de octubre 2019, Aceptado 12 de marzo 2020

RESUMEN

El dolor es uno de los aspectos más importantes que sugieren el estado de bienestar en los animales. Debido a que no podemos evaluar directamente los estados emocionales en ellos, la evaluación del bienestar se basa en factores fisiológicos e indicadores de comportamiento. Los veterinarios confían en la interpretación de la conducta de sus pacientes con el fin de guiar el tratamiento médico más adecuado, sin embargo, la evaluación clínica del dolor en animales es un procedimiento subjetivo dominado por el sesgo personal, la percepción y la fisiología. En los últimos años las investigaciones se han centrado en la creación de escalas de dolor (escala visual análoga, escala descriptiva simple, escala de calificación numérica, escala de dolor compuesta y escalas de gestos) con el fin de facilitar al clínico la determinación del grado de dolor que experimenta el paciente. Los enfoques farmacológicos para el tratamiento del dolor en equinos deben ser basados y seleccionados para fines específicos (inflamación, lesión nerviosa, sensibilización periférica frente a central) y en función de la gravedad y el tipo de dolor (somático frente a visceral; leve o grave), sin embargo la mayoría de los medicamentos utilizados para tratar el dolor en equinos se dividen en 4 categorías amplias: medicamentos antiinflamatorios (AINE), esteroides y no esteroides, opioides, y

agonistas α_2 , a pesar de las propiedades analgésicas de estos fármacos, existen reportes de diversos efectos adversos asociados a su utilización. La analgesia polimodal es una alternativa, si bien no contempla nuevos grupos farmacológicos, propone el uso simultáneo de varios medicamentos que, por poseer diferentes mecanismos de acción, logran mejorar el efecto analgésico final, disminuyendo los riesgos de presentación de efectos adversos.

Palabras clave: Dolor, escalas de dolor, equinos, analgesia polimodal.

ABSTRACT

Pain is one of the most important aspects that suggest a welfare state in animals. Because we cannot directly access to emotional states in them, the assessment of well-being is based on physiological factors and behavioral indicators. Veterinarians rely on the interpretation of the behavior of their patients in order to guide the most appropriate medical treatment; however, the clinical evaluation of pain in animals is a subjective procedure dominated by personal bias, perception and physiology. In recent years, research has focused on the creation of pain scales (visual analogue scale, simple descriptive scale, numerical rating scale, time budget analysis, composite pain scale and grimace scales) in order to facilitate to the clinician the determination of the degree of pain experienced by the patient. Pharmacological approaches for the treatment of pain in horses should be based and selected for specific purposes (inflammation, nerve injury), (peripheral versus central sensitization), and depending on the severity and type of pain (somatic versus visceral; mild or severe), however most of the drugs used to treat pain in horses are divided into 4 broad categories: anti-inflammatory drugs (NSAIDs), steroids and non-steroids, opioids, and α_2 agonists, despite the analgesic properties of These drugs, there are reports of various adverse effects associated with their use. The polymodal analgesia is an alternative, although it does not contemplate new pharmacological groups, it proposes the simultaneous use of several medications that by having different mechanisms of action, manage to improve the final analgesic effect, diminishing the risks of presentation of adverse effects.

Keywords: Pain, pain scales, equine, polymodal analgesia.

RESUMO

A dor é um dos aspectos mais importantes que sugerem o estado de bem-estar dos animais. Como não podemos avaliar diretamente os estados emocionais neles, a avaliação do bem-estar é baseada em fatores fisiológicos e indicadores comportamentais. Os médicos veterinários confiam na interpretação do comportamento de seus pacientes para orientar o tratamento médico mais adequado, no entanto, a avaliação clínica da dor em animais é um procedimento subjetivo dominado pelo viés pessoal, percepção e fisiologia. Nos últimos anos, a pesquisa concentrou-se na criação de escalas de dor (escala visual analógica, escala descritiva simples, escala numérica, escala composta de dor e escala gestual), a fim de facilitar ao clínico determinar o grau de dor que o paciente experimenta. As abordagens farmacológicas para o tratamento da dor em equinos devem ser baseadas e selecionadas para fins específicos (inflamação, lesão nervosa, sensibilização periférica versus central) e dependendo da gravidade e do tipo de dor (somática vs. visceral; leve ou grave), no entanto, a maioria dos medicamentos usados no tratamento da dor em equídeos se enquadra em quatro grandes categorias: anti-inflamatórios (AINEs), esteróides e não esteróides, opióides e $\alpha 2$ -agonistas, apesar das propriedades analgésicas desses medicamentos, Há relatos de vários efeitos adversos associados ao seu uso. A analgesia polimodal é uma alternativa, embora não contemple novos grupos farmacológicos, propõe o uso simultâneo de vários fármacos que, por possuírem diferentes mecanismos de ação, conseguem melhorar o efeito analgésico final, reduzindo os riscos de apresentar efeitos adversos.

Palavras-chave: dor, escalas de dor, equinos, analgesia polimodal.

INTRODUCCIÓN

El dolor es una experiencia sensorial y emocional aversiva que representa la conciencia del animal hacia un daño o amenaza a la integridad de sus tejidos (Molony y Kent, 1997). La incomodidad o el dolor son las formas mediante las cuales

el organismo se protege, al inhibir otras actividades se promueve la recuperación ya que se evita provocar un daño adicional a los tejidos (Bateson, 1991). Aparte de las diferencias de especies, la expresión del dolor también es dependiente del tipo y origen del dolor. El dolor somático y visceral, por ejemplo, son fenómenos que se manifiestan de manera diferente y deben tratarse de manera distinta (Robertson, 2002). Por su parte el dolor visceral hace referencia al dolor que se origina en cualquier órgano interno y con frecuencia se subdivide en los órganos contenidos dentro de cada cavidad corporal principal: tórax, abdomen y pelvis (Mair *et al.*, 2002), a su vez el dolor somático es aquel dolor debido a lesión o enfermedad de estructuras inervadas por el sistema somático, es decir: huesos, músculos y tendones (Salazar, 2012).

Debido a que no podemos evaluar directamente los estados afectivos de los animales, la evaluación del bienestar se basa en factores fisiológicos e indicadores de comportamiento (Harding *et al.*, 2004; Mendl *et al.*, 2010). Sin embargo, como el dolor es una experiencia multidimensional compleja no hay un solo parámetro que específicamente indique la presencia de dolor (Büttner y Finke, 2000). En la práctica veterinaria, el diagnóstico adecuado y el tratamiento del dolor dependen de la experiencia y conocimiento del clínico en reconocer e identificar el dolor en animales no verbales. Para facilitar la identificación del dolor se han desarrollado diferentes métodos, como las escalas de dolor para equinos, la mayoría de estas se basan en comportamientos y/o posturas de cabeza, cuello, orejas, cola, y a menudo la evaluación está asociada con parámetros fisiológicos (Ashley *et al.*, 2005). Estas escalas permiten determinar el grado de dolor que experimenta el animal mejorando así la regulación analgésica y, en consecuencia, el bienestar de estos pacientes.

En la actualidad pese a las investigaciones existe un número limitado de analgésicos disponibles para tratar el dolor severo en equinos, los analgésicos más comúnmente usados incluyen los α 2- adrenérgicos, agonistas antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y opioides (Robertson y Sánchez, 2010). Sin embargo, existen diversas desventajas en la utilización de estos fármacos en terapias prolongadas, los α 2- adrenérgicos disminuyen la motilidad gastrointestinal, producen hipertensión

y bradicardia seguidas de hipotensión (Elfenbein *et al.*, 2009). Los AINEs tienen propiedades analgésicas y antiinflamatorias viscerales bien documentadas, pero sus efectos adversos incluyen: ulceración gástrica y colónica, deterioro de la restitución del epitelio yeyunal, lesiones isquémicas y necrosis tubular renal (Kalpravidh *et al.*, 1984; MacAllister *et al.*, 1993). Por otra parte, la administración de opioides ha resultado en efectos adversos, predominantemente relacionados con excitación y disminución de la motilidad gastrointestinal (Bennett y Steffey, 2002). La terapia polimodal es una opción alternativa para tratar el dolor, en esta se disminuyen la cantidad de efectos adversos, ya que se combinan diferentes medicamentos, reduciendo las dosis necesarias y potenciando el efecto de cada fármaco (Matthews y Carroll, 2007).

Los equinos a diferencia de los seres humanos no poseen actualmente un “estándar de oro” para la evaluación del dolor (Ashley *et al.*, 2005). A pesar que los equinos demuestran una serie de señales conductuales de dolor, la estimación del dolor en ellos se ha considerado un desafío para los clínicos (Love *et al.*, 2009). La raza y la variación interindividual son elementos que también deben ser considerados en la expresión del dolor (Wagner, 2010). En la actualidad el uso de sistemas de puntuación o escalas definidas y validadas ayudan al veterinario a mejorar el reconocimiento y evaluar el tratamiento de condiciones dolorosas en equinos (Dutton *et al.*, 2009).

Las alternativas terapéuticas que existen para el tratamiento del dolor actualmente siguen siendo limitadas, a pesar de que la farmacología y la medicina veterinaria continúan avanzando la oferta de analgésicos eficaces y seguros para animales sigue siendo escasa y la utilización de los mismos se ha centrado en unos pocos fármacos principalmente pertenecientes al grupo de los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) (Matthews y Carroll, 2007). La analgesia polimodal es una alternativa, si bien no contempla nuevos grupos farmacológicos, propone el uso simultáneo de varios medicamentos que, por poseer diferentes mecanismos de acción, logran mejorar el efecto analgésico final, disminuyendo los riesgos de presentación de efectos adversos (Matthews y Carroll, 2007). Es de vital importancia

para el clínico conocer los mecanismos fisiopatológicos relacionados con el dolor, y los métodos de abordaje de la clasificación del dolor en la clínica equina, esto con el fin de que el veterinario realice una correcta selección de una terapia analgésica balanceada en equinos, en la que no solo se deben tener en cuenta la eficacia de los fármacos a administrar sino también el riesgo de presentación de efectos adversos.

Este trabajo busca reunir información necesaria para poder orientar al veterinario sobre los aspectos relacionados con los mecanismos fisiológicos del dolor, sus métodos de identificación y las alternativas terapéuticas existentes con el fin de garantizar el correcto manejo de los estados dolorosos que afectan a los equinos.

FISIOPATOLOGÍA DEL DOLOR

Nocicepción es un término usado para describir el proceso neuronal para la transducción (detección), transmisión, modulación, proyección y procesamiento central de un estímulo actual o potencial de daño tisular (Muir y Woolf, 2001). La nocicepción inicia en la periferia y es dependiente de la sensibilidad y actividad de los nociceptores, neuronas nociceptivas y sistema nervioso central (medula espinal y cerebro). Bajo circunstancias normales el estímulo nocivo (mecánico, térmico, químico y/o eléctrico) activa una variedad de umbrales y nociceptores polimodales ubicados en todo el cuerpo. Las neuronas nociceptivas expresan canales de potencial de receptor transitorio (TRP) los cuales se someten a una función y están altamente implicados en la detección inmediata de estímulos nocivos (White *et al.*, 2010).

La sensibilización central resulta de los efectos acumulativos de la repetición de la entrada nociceptiva sostenida en el cuerno dorsal de la médula espinal y la posterior liberación de glutamato y neuropéptidos (sustancia P y neurocinina A) que activan receptores de N-Metil-D-Aspartato (NMDA) y taquiquinas, dando como resultado una "finalización" gradual de las vías nerviosas centrales (Muir y Woolf, 2001; Blackshaw y Gabhart, 2002). El dolor severo o prolongado (crónico) puede ocasionar sensibilización central, que a menudo se inicia por sensibilización

periférica y se caracteriza con frecuencia por hiperalgesia, alodinia e hipersensibilidad secundaria (dolor fuera del área lesionada) (Bueno *et al.*, 1997) por otra parte el dolor visceral (dolor intestinal, hepático, esplénico, o renal) a diferencia del dolor somático, es transmitido por fibras nerviosas parasimpáticas (principalmente vágales) y simpáticas a través de fibras del nervio esplácnico aferente (Price *et al.*, 2003; Glerup y Lindergaard, 2016).

TIPOS DE DOLOR

La evaluación de una lesión aguda o crónica debe incluir la determinación del dolor relacionado con daño tisular, para ello es importante que el clínico conozca la diferencia en los tipos de dolor (somático, visceral) existentes que pueden padecer los equinos, esto con el fin de facilitar el desarrollo de un adecuado tratamiento y rehabilitación pertinente para cada paciente.

El dolor visceral se puede definir como el dolor que se origina en cualquier órgano interno y a menudo se divide para incluir los órganos contenidos dentro de cada cavidad corporal principal, que son: tórax, abdomen y pelvis. Mair *et al.*, (2002) afirman que hay aproximadamente 100 condiciones que resultan en dolor abdominal en el equino, pero las fuentes más comunes son el intestino delgado y grueso, es por esto que este tipo de dolor ha recibido mayor investigación y atención clínica en los últimos años. La causa del dolor visceral puede ser orgánica (estructural identificable cambio en un órgano) o disfuncional (un cambio anormal en la función del órgano sin cambios patológicos identificables) (Giamberardino, 2005).

El dolor visceral es un desafío para el clínico porque puede ser difícil hacer un diagnóstico definitivo; idealmente, el tratamiento está dirigido a abordar la patología subyacente, pero a menudo es complejo identificar con exactitud el órgano afectado dentro de la cavidad (Hunter, 2009).

Por otra parte, el dolor somático es aquel dolor debido a lesión o enfermedad de estructuras inervadas por el sistema somático, como son huesos, músculos y tendones. La osteoartritis (OA), también conocida como osteoartrosis o enfermedad

articular degenerativa, es el trastorno musculo esquelético crónico más importante tanto en humanos como en equinos (Leigh *et al.*, 2001).

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL DOLOR EN EQUINOS

Existen numerosos desafíos para diagnosticar el dolor en equinos entre los principales encontramos: la falta en el reconocimiento temprano o detección de signos sutiles de dolor y la posible supresión del comportamiento de dolor dado por un estímulo de amenaza potencial (Taylor *et al.*, 2002).

Para lograr que la evaluación del dolor sea objetiva y lo más consistente posible, es imperativo: (I) determinar cuáles comportamientos y parámetros fisiológicos pueden estar asociados con dolor, (II) realizar observaciones sistematizadas de estos signos, (III) especificar el grado de dolor relacionado con un cierto tipo de comportamiento y (IV) combinar estas observaciones en un puntaje cuantitativo, útil para estimar la intensidad del dolor (Wagner, 2010). En la actualidad se han desarrollado varias escalas del dolor con el fin de realizar una detección y cuantificación temprana de la gravedad del dolor y recomendar el tratamiento más oportuno dependiendo del tipo de patología que esté afectando al paciente. Para que un sistema de puntuación de dolor funcione de manera confiable en la práctica, debe ser fácil de usar, con parámetros relevantes bien definidos que puedan ser evaluados repetidamente y rápidamente por diferentes observadores con resultados consistentes (Raekallio *et al.*, 1997).

MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

El análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (AVFC) proporciona un método para evaluar el impacto del sistema nervioso autónomo en su función cardiovascular, debido a que la entrada autonómica también está influenciada por la amígdala (emoción) y corteza (conciencia), el AVFC sirve como un indicador de efecto emocional (Lang *et al.*, 2000). Además de la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria también puede verse afectada por el dolor, estos dos parámetros tienen la ventaja que son fácilmente medibles y cuantificables, es por esto que en la clínica diaria son indicadores claves de dolor y necesidad de

analgesia (Price *et al.*, 2003; Dujardin y van Loon, 2011). Sin embargo, estos parámetros solos son poco específicos para determinar la presencia y severidad de dolor, debido a que pueden ser influenciados por otros factores como: la temperatura ambiental, deshidratación, excitabilidad y enfermedad cardiovascular y/o respiratoria (Raekallio *et al.*, 1997; Dziki *et al.*, 2003).

ESCALA VISUAL ANÁLOGA

En veterinaria “la escala visual análoga o VAS por sus siglas en inglés, consiste en una línea horizontal de 10 cm, que representa la intensidad del dolor, esta inicia desde la parte izquierda de la línea la cual hace referencia a la ausencia de dolor, hacia el lado derecho de la línea se va aumentando el grado de dolor hasta llegar al peor dolor imaginable. En la práctica equina, diferentes observadores alcanzaran diferentes puntuaciones para el mismo paciente y situación (conocido como pobre acuerdo inter observador). Esto hace que esta escala sea inadecuada para un entorno hospitalario donde varios observadores evaluaran al mismo paciente, sin embargo, la escala VAS puede ser útil para observación del propietario sobre el mismo animal durante un curso prolongado (Hielm-Bjorkman *et al.* 2011).

ESCALA NUMÉRICA

La escala numérica (EN) consiste en una línea horizontal con etiquetas numéricas preestablecidas de 0 a 10. Nuevamente, cero designa sin dolor y 10 el peor dolor imaginable. Los observadores deben encerrar en un círculo el número más cercano a la cantidad percibida del dolor que el animal está experimentando (Ashley *et al.*, 2005). Se considera que la escala numérica es menos sensible para identificar pequeños cambios en el dolor comparado con el VAS, ya que solo preestablece las entradas de números enteros (Viñuela-Fernández *et al.*, 2011).

ESCALA DESCRIPTIVA SIMPLE (EDS)

La EDS consiste en grados de dolor a los cuales se les asigna un número de índice para permitir que los datos se manejen estadísticamente, p.ej. 0, ninguno; 1, dolor leve; 2, dolor moderado; 3, dolor severo. Se espera que las escalas descriptivas

simples funcionen mejor que la escala visual análoga o la escala numérica en manos de observadores menos experimentados (dado que se proporcionan clases predefinidas), este no es siempre el caso (Kester, 1991). Ejemplos del uso de las EDS en la práctica clínica incluye los sistemas de clasificación de cojeras, como el de la Asociación estadounidense de Practicantes Equinos (AAEP), o la clasificación de Obel para laminitis (Price *et al.*, 2003).

ESCALAS DEL DOLOR COMPUESTAS

Dado que el dolor es un fenómeno subjetivo, multidimensional y complejo que evoca respuestas emocionales, conductuales y fisiológicas su evaluación requiere identificar parámetros puntuales relacionados con el dolor con el fin de determinar y cuantificar mejor los estados de dolor que aquejan a los equinos (Dobromylskyj *et al.*, 2000). Para lograr este objetivo se construyen las escalas de dolor compuestas (EDC), donde múltiples variables (conductuales fisiológicas o ambas) se clasifican individualmente utilizando clases bien definidas por medio de escalas descriptivas simples, cada una de estas va a describir un comportamiento específico o un parámetro fisiológico en cuatro o cinco grados claramente definidos. Cada EDS es evaluada individualmente y posteriormente todos los puntajes son sumados para obtener un puntaje de dolor final” (Sutton *et al.*, 2013).

TEST DE ANALGESIA

La validación de los comportamientos relacionados con el dolor equino se puede lograr de manera efectiva estudiando la respuesta a la analgesia, aunque la mayoría de los estudios en esta el área están dirigidos a las pruebas de eficacia analgésica (Gleerup y Lindegaard, 2014). En estos caballos, se realiza tratamiento analgésico durante el entrenamiento con el fin de evaluar si el bajo rendimiento o problemas de conducción están relacionados con dolor. Si el comportamiento se reduce o elimina después del tratamiento (y específicamente si se repite después de que se haya disipado el efecto del analgésico), entonces es probable que el problema se deba a una afección dolorosa no diagnosticada (Pozzi *et al.*, 2006).

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN SISTEMÁTICA A ESTADOS DE DOLOR ESPECÍFICOS EN EQUINOS

Laminitis

La laminitis aguda se considera una de las condiciones más dolorosas que un caballo puede experimentar (Wagner, 2010; Dujardin y van Loon, 2011). La escala de dolor de laminitis desarrollada por Nils Obel es una EDS que clasifica la gravedad de la cojera debido a la laminitis del grado de I al IV (Obel, 1948; Wagner, 2010); (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de dolor de laminitis

Grado I	El animal se encuentra en posición de pie y levanta incansablemente los miembros con intervalos sólo de unos pocos segundos. Al caminar no muestra cojera pero al trote se observa leve disfunción.
Grado II	Camina aún sin cojera, pero al trote muestra clara claudicación de apoyo bilateral, adelantando los miembros al trote, levanta los miembros sin dificultad.
Grado III	El animal evita moverse como también levantar los pies. Generalmente coincide con la iniciación de la fase crónica.
Grado IV	En este estado el animal no se mueve sino es forzado.

Fuente: Escala de dolor de laminitis (Obel, 1948)

Viñuela-Fernández *et al.* (2011) evaluaron la confiabilidad de tres sistemas subjetivos de puntuación para laminitis: EVA (escala visual análoga), EDS (escala descriptiva simple) y la puntuación de Obel modificada adaptada por Owens *et al.* (1995) y el “sistema de calificación clínica” desarrollado por Taylor *et al.*, (2002), la confiabilidad general de los tres sistemas de puntuación fue alta, con confiabilidad entre observadores consistentemente alta (Viñuela-Fernández *et al.*, 2011).

Sinovitis

Una causa importante de cojeras en los equinos es la sinovitis aguda. Estudios experimentales utilizando inyecciones intraarticulares (IA) de lipopolisacárido (LPS) o anfotericina B para inducir sinovitis aguda o crónica, respectivamente, Se han

utilizado para validar herramientas de puntuación de dolor y monitorear la eficacia de la intervención analgésica (Bussières *et al.*, 2008; de Grauw *et al.*, 2009a, 2014; Lindegaard *et al.*, 2010; van Loon *et al.*, 2010). Usando el modelo de anfotericina B, se desarrolló una escala de dolor compuesta para ortopedia validada por Bussières *et al.*, (2008). Esta EDC incluye varias variables de comportamiento interactivas (como la respuesta a la palpación del área afectada), así como la observación (por ejemplo, la postura) y variables fisiológicas (Tabla 2). De las variables incluidas, la respuesta a la palpación del área afectada y la postura fueron los indicadores más sensibles y específicos de dolor asociados a sinovitis severa.

Tabla 2. Escala de dolor compuesta de calificación numérica multifactorial

Datos fisiológicos	Criterio	Puntaje /12
Frecuencia cardíaca	Normal comparado con el valor inicial (< 10% aumento)	0
	11-30 % aumento	1
	31-50% aumento	2
	>50% aumento	3
Frecuencia respiratoria	Normal comparado con el valor inicial (< 10% aumento)	0
	11-30 % aumento	1
	31-50% aumento	2
	>50% aumento	3
Sonidos digestivos	Motilidad normal	0
	Disminución de la motilidad	1
	Amotil	2
Temperatura rectal	Hipermotil	3
	Normal comparado con el valor inicial (variación < 0,5 °C)	0
	Variación < 1 °C	1
	Variación mayor 1,5 °C	2
	Variación 2°C o mas	3
		Puntaje/6
Respuesta al tratamiento	Pone atención a las personas	0
Comportamiento de interacción	Respuesta exagerada a estímulos auditivos	1
	Respuesta excesiva-agresiva a estímulos auditivos	2
	Stupor, postración no respuesta a estímulos auditivos	3
Respuesta a ala palpación del área afectada	No haya reacción a la palpación	0
	Mediana reacción a la palpación	1
	Se resiste a la palpación	2
	Violenta reacción a la palpación	3

		Puntaje/21
Comportamiento Se patea el abdomen	De pie en silencio sin patear	0
	Ocasionalmente patea el abdomen (1-2 x/ 5 min)	1
	frecuentemente patea el abdomen (3-4 x/ 5 min)	2
	Excesivamente patea el abdomen (>5 x/ 5 min), intermitentemente intenta acostarse y rodar	3
Patear-raspar el piso	De pie en silencio sin patear	0
	Ocasionalmente patea el piso (1-2 x/ 5 min)	1
	frecuentemente patea el piso (3-4 x/ 5 min)	2
	Excesivamente patea el piso (>5 x/ 5 min)	3
Postura (peso, distribución, confort)	Se para normal en silencio, camina normal	0
	Ocasionalmente ladea su peso, leves tremores musculares	1
	No hay soporte de peso, distribución anormal de peso	2
	Postura analgésica (intentos de orinar, postración, tremores musculares)	3
Movimientos de la cabeza	No hay evidencia de discomfort, cabeza derecha	0
	Movimientos intermitentes laterales o vertical ocasionalmente observando el flanco (1-2 x /5 min)	1
	Movimientos rápidos e intermitentes laterales y verticales (3-4 x/5 min)	2
	Movimientos de cabeza continuos, observación excesiva del flanco (>5x/5 min)	3
Apetito	Come normalmente	0
	Vacila para comer	1
	Muestra un poco de interés, come poco, o introduce en alimento a la boca pero no mastica o traga	2
	No muestra interés, no come	3
Total		39

Fuente: Bussieres et al. (2008).

Se debe elegir un valor de 0-3 para cada comportamiento, se hace referencia a 0: normal, 3: lejos de lo normal, posteriormente se realiza una tabulación de los resultados indicando 1-10 dolor bajo; 10-20 dolor moderado; >20 dolor severo.

Castración

Aunque se considera un procedimiento rutina, la castración es una cirugía invasiva con el potencial a desarrollar considerables complicaciones postquirúrgicas y dolor postoperatorio. Se han realizado varios estudios con diferentes escalas para

determinar el grado de dolor y efectividad de la analgesia en procedimientos de castración, la escala visual análoga y la escala descriptiva simple, se han utilizado para evaluar la eficacia de la buprenorfina y butorfanol para el dolor posterior a la castración en ponies (Love *et al.*, 2013), sin embargo, se ha utilizado la castración quirúrgica para desarrollar una escala de expresión facial basada en seis parámetros (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de gestos en equinos

Acción facial	Descripción	Puntaje
Orejas rígidamente hacia atrás	Las orejas se sostienen rígidamente y se giran hacia atrás.	0
	Moderadamente presente	1
	Obviamente presente	2
Ajuste orbital	El párpado está parcial o completamente cerrado.	0
	No presente	
	Moderadamente presente	1
Tensión en el área superior del ojo	Obviamente presente	2
	No presente	0
	Moderadamente presente	1
Tensión de los músculos masticatorios	Obviamente presente	2
	Moderadamente presente	1
	La tensión de los músculos masticatorios es claramente visible como un aumento de la tensión por encima de la boca si al masticar. No presente	0
Boca tensa y barbilla pronunciada	Obviamente presente	2
	Moderadamente presente	1
	La boca estirada es claramente visible cuando el labio superior. No presente	0
Fosas nasales tensas y aplanamiento del perfil	Obviamente presente	2
	Moderadamente presente	1
	Las fosas nasales se ven tensas y ligeramente dilatadas, el perfil de la nariz se aplanan y los labios se alargan	0
Puntaje total de dolor		12

Fuente: Dalla *et al.*, (2014).

Para la aplicación de esta tabla se debe llevar a cabo la elección de un valor de 0-2 0: indicando no presente 1: moderadamente presente y 2: obviamente presente, posteriormente se suman los resultados obtenidos para indicar: 1-4: dolor leve; 4-7 dolor moderado >7: dolor severo.

Cólico agudo

El cólico es una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad en equinos (Freeman y Curtis, 2015). El cólico agudo se asocia con la expresión abierta de dolor en equinos y la intensidad del comportamiento asociado al dolor puede guiar la decisión quirúrgica (Ashley *et al.*, 2005). Sutton *et al.*, (2013) desarrollaron y validaron dos escalas de dolor basadas en el comportamiento para equinos con cólicos agudos (EAAPS-1 y -2); estas escalas multivariantes se basan principalmente en componentes de comportamiento observacional (Tablas 4 y 5) sin incluir parámetros fisiológicos; no son escalas compuestas de dolor, ya que no se agregan sub puntuaciones para obtener una puntuación general de dolor.

Tabla 4. Escala de dolor abdominal agudo en equinos – versión I (EAAPS-1)

Tipo	Comportamiento	Puntaje
	Depresión	1
	Observación del flanco	2
	Distribución del peso	2
	intranquilidad	3
Moderado	Pateo del abdomen	3
	Raspado del suelo	3
	Estiramiento	3
	Recumbencia esternal	3
	Intentos de acostarse	3
	Recumbencia lateral	4
Severo	Rolling	4
	Colapso	5

Fuente: Sutton *et al.*, (2013)

Para determinar la severidad del dolor que experimenta el animal elija el comportamiento más severo que manifiesta el equino, y el puntaje para ese

comportamiento estará en la escala de dolor, interpretándose así: 1-2: dolor leve; 2-4: dolor moderado 5: dolor severo.

Tabla 5. Escala de dolor abdominal agudo en equinos – versión 2 (EAAPS-2)

Dolor	Comportamiento	Dolor			
		Moderado	Severo		
	Depresión	1			
	Observación del flanco ^a	1	2		
	Distribución del peso ^a	1	2		
	Raspado del suelo ^a		2	3	
	Estiramiento ^a		2	3	
Moderado	Pateo del abdomen ^a		2	3	
	Intranquilidad ^b		2	3	
	Recumbencia esternal ^c		2	3	4
	Intentos de acostarse			4	
	Recumbencia lateral			4	
	Rodar			4	5
Severo	Colapso				5

^a El puntaje más bajo aplica si el comportamiento es ocasionalmente o raramente observado, el puntaje más alto se utiliza cuando el comportamiento es realizado frecuentemente o si se realiza de manera exagerada. ^b El puntaje más bajo aplica a un caballo que camina en círculos en la pesebrera, pivotea alrededor, o se desplaza sin razón aparente, pero solo ocasionalmente, y el puntaje más alto aplica a los equinos que se desplazan continuamente, o lo realizan de una manera violenta. ^c El puntaje más bajo aplica a un equino que esta alerta, con la cabeza levantada y el puntaje más alto se da cuando la cabeza del animal reposa en el suelo o un lado del equino.

Fuente: Sutton *et al.*, (2013)

Para determinar la severidad del dolor que experimenta el animal elija el comportamiento más severo que manifiesta el equino, luego elija alguno de los dos puntajes para ese comportamiento en específico basándose en las descripciones en la parte inferior de la tabla.

Cirugía abdominal

La cirugía de emergencia para cólico es un procedimiento común en la práctica equina, y el dolor asociado con coeliotomía, puede ser substancial. Múltiples estudios han tendido a desarrollar escalas para determinar o cuantificar el dolor

después de una cirugía abdominal lo cual puede ser bastante útil para tomar decisiones clínicas y determinar un pronóstico.

La escala numérica desarrollada por Pritchett *et al.*, (2003) usa indicadores fisiológicos y de comportamiento para dolor postoperatorio, con el fin de determinar la eficacia de la intervención analgésica, estos mismos autores encontraron que los caballos postquirúrgicos pasan mayor tiempo desarrollando comportamientos de dolor y menos tiempo en procesos de locomoción voluntaria. Tal escala asigna un puntaje numérico a cada categoría de comportamiento basado en la descripción del comportamiento (Tabla 6).

Tabla 6. Escala numérica de comportamiento

Categoría de comportamiento	1	2	3	4
Comportamiento rudo ^{a,b}	Ninguno		Ocasionalmente	Continuamente
Posición de cabeza ^b	Encima de la cruz		Al nivel de la cruz	Por debajo de la cruz
Posición de orejas ^b	Hacia adelante, movimiento frecuente		Ligeramente hacia atrás, poco movimiento	
Localización en la pesebrera ^b	En la puerta observando el ambiente	Se para en la mitad, mirando hacia la puerta	Se para en la mitad, mira hacia un lado de la pesebrera	Se para en la mitad, da la espalda a la pesebrera
Locomoción espontánea ^b	Se mueve libremente	Pasos ocasionales		No hay movimiento
Respuesta a la apertura de la puerta ^c	Se va hacia la puerta	Mira la puerta		No hay respuesta
Respuesta al acercarse ^c	Se desplaza hacia el observador, orejas hacia adelante	Mira al observador orejas hacia atrás	Se aleja del observador	No se mueve orejas hacia atrás
Levantamiento de patas ^c	Levanta la que se le solicita	Levanta las patas después de que se le insiste		Extremadamente sin voluntad de levantar las patas

Respuesta al concentrado	Se desplaza a la puerta y alcanza el concentrado	Mira hacia la puerta	No hay respuesta
--------------------------	--	----------------------	------------------

^a Comportamiento rudo incluye raspado del piso, sudoración, observación de los flancos, acostarse/levantarse repetidamente. ^b puntajes combinados para dar un puntaje de postura. ^c puntajes combinados para dar un puntaje de socialización

Fuente: Pritchett *et al.*, (2003).

MANEJO FARMACOLÓGICO POLIMODAL DEL DOLOR EN EQUINOS

En la clínica equina en muchos casos no se puede realizar un diagnóstico definitivo de una patología o este puede tomar tiempo, lo cual retrasa la instauración terapéutica. Se ha argumentado que el manejo del dolor debe ser retenido hasta que la causa del dolor ha sido identificada porque enmascararlo confundirá el diagnóstico. Ahora bien, en la actualidad en cuanto más tiempo se demore en tratar el dolor, mayor es el riesgo de terminar en sensibilización e hiperalgesia (Robertson *et al.*, 2005). Actualmente existen en el mercado una gran variedad de analgésicos disponibles para tratar el dolor en equinos. Los medicamentos analgésicos más comúnmente utilizados incluyen agonistas α_2 adrenérgicos, fármacos antiinflamatorios no esferoidales (AINES), opioides y anestésicos locales (Tabla 7) (Sellon *et al.*, 2001).

El dolor intenso puede ser refractario a la terapia analgésica con un solo fármaco, llegando a requerir un tratamiento multifactorial. El enfoque del manejo polimodal del dolor es una alternativa, en este se emplea el uso de varios fármacos con diferentes mecanismos de acción (Matthews y Carroll, 2007) dentro de las diferentes vías de administración se incluye la vía oral, intramuscular, subcutánea, epidural, intraauricular, aplicación regional en troncos nerviosos identificados, y las vías transdérmica e intravenosa, en esta se puede optar por administrar el medicamento mediante infusión constante con el fin de lograr un efecto analgésico sostenido (Taylor, 2007). Se considera que el mejor efecto analgésico bajo el concepto de analgesia polimodal, se logra al asociar principalmente un solo fármaco que ejerce acción analgésica a nivel central con otros que lo hacen a nivel periférico (Goodrich y Nixon, 2006).

Tabla 7. Clases de medicamentos analgésicos

Clase de medicamento	Mecanismo de acción	Evidencia de la eficacia clínica
Opioides Morphina, Meperidina, Methadona, Hydromorphona, Fentanyllo, Butorphanol, Buprenorpina	Agonistas mu (μ), kappa (κ) La actividad agonista de los opioides puede ser importante para el butorfanol	Buena
Agonists Alpha-2 Xylazina, Detomidina, Medetomidina, Romifidina	Estimula los receptores alpha-2	Buena
AINES Aspirina, Phenylbutazona, Flunixin, Ketoprofeno, Firocoxib, Diclofenaco	Inhibición de la cyclooxygenasa y prostaglandinas: PGE2, PGI2, TXA2	Fuerte
Anestésicos locales Lidocaina, Mepivacaina, Bupivacaina, Ropivacaina	Bloqueo de los canales de Na ⁺	Fuerte
Corticoides Triamcinolona acetona, Methylprednisolona acetato, Dexametasona	Inhibición de la fosfolipasa A2	Buena
Otros Ketamina, tiletamina, Gabapentina, Tramadol, Capsaicina	Antagonista NMDA (N-metil- D aspartate) bloqueador de los canales de Ca ⁺⁺ Agonistas de los receptores μ , Desensibilización de las fibras C	Buena Pobre Pobre Desconocida

Fuente: Muir, (2010)

UTILIZACIÓN DE AINES EN ANALGESIA POLIMODAL

Los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs: Fenilbutazona, Flunixin meglumina, Firocoxib) producen efectos antiinflamatorios y analgésicos mediante la inhibición de la ciclooxigenasa (COX), enzima encargada de metabolizar el ácido araquidónico en prostaglandinas (Bailey y Elliot, 2007). Las prostaglandinas y los leucotrienos son factores clave en la producción de sensibilización periférica y probablemente sean importantes para aumentar la sensibilización central. Los AINEs son analgésicos eficaces para el tratamiento del dolor inflamatorio leve a moderado, mientras que, en dolores severos o dolores refractarios, su eficacia es reducida (Kalpravidh *et al.*, 1984).

Además de esto se han reportado efectos adversos asociados con el uso de AINEs en el tratamiento del dolor, entre los que se incluyen: ulceración gástrica y colónica, deterioro del yeyuno, restitución epitelial después de una lesión isquémica y necrosis tubular renal (MacAllister *et al.*, 1993; Cook *et al.*, 2009; Matthews y Carroll, 2007). Sin embargo, la combinación de AINEs con otros fármacos permite potenciar el efecto de ambos medicamentos debido a los diferentes mecanismos de acción que realiza cada uno para la disminución del dolor, de esta manera se reduce la cantidad de dosis requeridas, y a su vez los efectos adversos relacionados con estos (Reyes *et al.*, 2004).

UTILIZACIÓN DE OPIOIDES EN ANALGESIA POLIMODAL

Los opioides no se han usado ampliamente para tratar el dolor clínico en caballos en comparación con otras especies, como los humanos. Las razones para esto incluyen el margen estrecho aparente entre la analgesia y la excitación, sumado a la dificultad para demostrar una acción analgésica consistente y cuantificable (Muir, 2010). Otros efectos adversos que se reportan por el uso de opioides son: predisposición a íleo, parálisis, cólico, excitación (aumento de la actividad locomotora), agitación, desorientación, y ataxia en algunos casos, Las dosis altas o repetidas de opioides pueden dar como resultado retención urinaria. Los opioides producen la mayoría de sus efectos analgésicos clínicamente relevantes mediante

la activación de los receptores opioides mu (μ), kappa (κ), o delta (δ) (Combie et al., 1981). Los opioides disponibles actualmente incluyen agonistas- μ completos (morfina, metadona, fentanilo), agonistas- μ parciales (buprenorfina) y agonistas- κ / antagonistas- μ (butorfanol). La morfina es el agonista- μ prototípico con que se comparan todos los demás opioides (Combie *et al.*, 1983; Matthews y Carroll, 2007).

La eficacia analgésica de los opioides es notoria, frente a otros grupos de analgésicos, pero su uso como terapia única en la mayoría de los equinos desencadena efectos adversos no deseados como se mencionó anteriormente, sin embargo, una alternativa para su uso es la terapia complementaria o polimodal junto con otros fármacos como: AINEs, agonistas alfa-2 y anestésicos locales (Muir, 2016). Dentro de las asociaciones más frecuentes se encuentran las realizadas entre analgésicos opioides y sedantes principalmente agonistas alfa-2 y fenotiacínicos. La combinación de opioides, especialmente morfina en asociación con agonistas alfa-2 produce profundos efectos sedantes, Este estado se denomina comúnmente “neuroleptoanalgesia”, y es utilizado en animales que son refractarios a la analgesia o cuando las intervenciones permanentes son necesarias (Muir *et al.*, 1979; Bennett y Steffey, 2002).

UTILIZACIÓN DE ALFA-2 ADRENÉRGICOS EN ANALGESIA POLIMODAL

Los agonistas Alpha-2, tales como la xylazina, clonidina, romifidina, detomidina, medetomidina, y dexmedetomidina, son potentes medicamentos analgésicos que también incluyen cambios comportamentales y psicológicos, tales como hipertensión, bradicardia, bloqueo atrio ventricular, sedación excesiva y ataxia, por estos efectos su uso puede ser limitado como analgésico de uso sistémico en algunos pacientes (Daunt y Steffey, 2008).

Entre los efectos adversos más conocidos por el uso de terapias con agonista Alpha-2 encontramos: disminución de la motilidad intestinal, vasoconstricción de la musculatura cecal, disminución del vaciamiento gástrico, lesiones en la mucosa gástrica e intestinal, aumento en la producción de orina debido a la hiperglicemia (Alexander e Irvine, 2000). Para disminuir estos efectos se ha realizado la

combinación de agonista Alpha-2 con opioides, La combinación de opioides, especialmente morfina en asociación con agonistas alfa-2 produce profundos efectos sedantes, entre las asociaciones mayormente reportadas se encuentra Xilazina + buprenorfina, Xilazina + metadona y dentro de estas combinaciones, se ha encontrado que el mejor efecto analgésico se logra con la asociación xilazina + buprenorfina (Bennett y Steffey, 2002).

UTILIZACIÓN DE ANESTÉSICOS LOCALES EN ANALGESIA POLIMODAL

Los anestésicos locales (lidocaína, mepivacaína, bupivacaína, ropivacaína) se usan frecuentemente solos o en combinación con otros analgésicos para producir pérdida de sensación de dolor, estos pueden ser administrados tópicamente, regionalmente (local, peri neural, epidural) y sistémicamente (Doherty y Frazier, 1998).

Los anestésicos locales, principalmente las lidocaínas producen mínimos efectos cardiovasculares y respiratorios en condiciones normales, pero pueden disminuir el gasto cardíaco, la presión arterial y la frecuencia cardíaca cuando se administran por vía intravenosa, debido a la disminución en el sistema nervioso central, fuerza contráctil del miocardio y retorno venoso (Rezende *et al.*, 2011; Harkins *et al.*, 1995). Las diferencias significativas en el metabolismo, la eliminación y el potencial de producir toxicidad en el sistema nervioso central (desorientación, ataxia y ataques) son otros de los efectos adversos que se pueden observar entre otros anestésicos locales (Matthews y Carroll, 2007).

La vía epidural es la que se utiliza con mayor frecuencia en esta analgesia polimodal, los reportes más frecuentes en equinos corresponden a la asociación de agonistas alfa-2 con anestésicos locales (Natalini y Driessen, 2007). El conocimiento de los mecanismos fisiopatológicos, los parámetros relacionados con el dolor, y los métodos de abordaje de la clasificación del dolor en la clínica equina permiten que el veterinario realice una correcta selección de una terapia analgésica balanceada en equinos, en la que no solo se deben tener en cuenta la eficacia de los fármacos a administrar sino también el riesgo de presentación de efectos adversos y de interacción medicamentosa.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El manejo del dolor en animales, asociado a lesión o enfermedad, es un objetivo fundamental de la medicina veterinaria (Waran *et al.*, 2010). Sin embargo, el manejo de dicho dolor es dependiente de la calidad de la evaluación del dolor que experimenta el paciente. A pesar que la medicina equina y la cirugía han avanzado significativamente durante las últimas décadas, dando como resultado procedimientos médicos y quirúrgicos más avanzados, continúa siendo aún un desafío clínico identificar y tratar correctamente los estados de dolor que afectan a los equinos (Bisgaard *et al.*, 2001; Sellon *et al.*, 2004). A pesar de que se tienen claros los parámetros a tener en cuenta para identificar el dolor se ha encontrado una considerable discrepancia, tanto en cómo aprecian el dolor los veterinarios, como en los métodos usados para controlarlo (Capner *et al.*, 1999; Lascelles *et al.*, 1999; Price *et al.*, 2002; Hewson *et al.*, 2007; Waran *et al.*, 2010). Una gran proporción (40-60%) de veterinarios clasifican su propia capacidad para reconocer el dolor y el conocimiento de la terapia analgésica en caballos solo moderada (Valverde y Gunkel, 2005). Debido a que sentir dolor es subjetivo, a menudo el médico veterinario se ve forzado a emitir un juicio sobre si un equino está o no experimentando dolor, con base en su práctica profesional (Schaafsma, 2009), así como en la interpretación de indicadores fisiológicos y conductuales (Price *et al.*, 2002; Murrell y Johnson, 2006). Algunos autores han señalado que existe una correlación positiva entre la percepción humana del dolor y la de otros animales frente a determinadas condiciones dolorosas, y los niveles de empatía del hombre hacia otras especies animales (Ellingsen *et al.*, 2010; Kielland *et al.*, 2010).

Debido a que la identificación y cuantificación del dolor depende de la habilidad del observador como se mencionó anteriormente para detectar cambios fisiológicos y comportamentales relacionados con el mismo es imperativo que el observador: (I). determine cuales parámetros fisiológicos y comportamentales pueden estar asociados con dolor (II). Sistematice las observaciones de estos hallazgos, (III). Especifique el grado de dolor relacionado con cierto tipo de comportamiento y (IV). Combine estas observaciones a un puntaje cuantitativo (Ashley *et al.*, 2005).

Para identificar o facilitar la interpretación de los estados de dolor se han desarrollado varios métodos de evaluación entre los que encontramos la medición de los parámetros fisiológicos, escalas de dolor, prueba de umbral nociceptivo, análisis en el tiempo y test de analgesia. En cuanto a la medición de los parámetros fisiológicos se ha encontrado que equinos con cólico u otras enfermedades severas a moderadas la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria y la presión sanguínea pueden verse afectadas por el dolor, pero también pueden verse afectadas por endotoxemia, compromiso cardiovascular y/o deshidratación, además que en condiciones clínicas o de hospitalización estos parámetros pueden verse afectados por el tratamiento que está recibiendo el paciente, es decir que se debe tener total cuidado con la interpretación de estos hallazgos y su relación con el dolor (Pader *et al.*, 2011). Por otra parte el acceso sistemático del dolor mediante escalas o sistemas de puntajes validados y definidos ayuda al reconocimiento y tratamiento de condiciones dolorosas que afectan a los equinos, ya que en estos se agrupa información de parámetros fisiológicos y comportamentales brindando una mejor correlación entre los observadores un récord más confiable sobre la severidad del dolor sobre el tiempo y mayores probabilidades de instaurar una terapéutica correcta (Dutton *et al.*, 2009; Wagner, 2010). Usando el modelo de anfotericina B, Bussieres *et al.*, (2008) desarrolló y validó una escala de dolor compuesta que evalúa el dolor de tipo ortopédico. Esta escala incluye variables de comportamiento interactivo, (respuesta a la palpación del área lesionada) observacional (postura) y fisiológico (Tabla 2). De las variables incluidas en esta escala, la respuesta a la palpación del área lesionada y la postura fueron los indicadores más sensibles y específicos del dolor asociado con sinovitis severa, de igual manera el modelo de sinovitis inducida por LPS ha sido utilizado para el estudio de la eficacia analgésica para el tratamiento del dolor articular encontrando buenos resultados terapéuticos con AINEs orales (de Grauw *et al.*, 2009; van Loon *et al.*, 2014), infusiones continuas de opioides, morfina epidural (Freitas *et al.*, 2011; van Loon *et al.*, 2012) y bupremorfina (Freitas *et al.*, 2011). Esta escala muestra buena correlación entre los observadores, pero sensibilidad limitada para detectar el dolor moderado. (Lindegaard *et al.*, 2010). Por otra parte, la escala de dolor compuesta desarrollada

por Dalla Costa *et al.*, (2014) tiene buena aplicabilidad para la evaluación de dolor post quirúrgico en equinos, principalmente después de procedimientos de castración, esta escala se basa en 6 parámetros faciales (posición de las orejas, tensión orbital, tensión de la boca, tensión de los músculos masticatorios, apertura de las narinas y aplanamiento del perfil (Tabla 3). Se encontró que esta escala de dolor de gestos en equinos tiene una buena correlación para la determinación de dolor post-castración además de esto permite la determinación de dolor moderado. Ashley *et al.*, (2005) y Sutton *et al.*, (2013) enfocaron su trabajo en el desarrollo de dos escalas para determinar el grado de dolor durante procesos de cólico agudo (EAAPS-1 y -2) (Tabla 4 y 5). Estas escalas multivariantes están basadas principalmente en componentes de comportamiento observacional excluyendo la evaluación de parámetros fisiológicos, sin embargo la correlación entre observadores que utilizaron las escalas EAAPS-1 y -2 fue excelente (coeficiente de correlación de 0.8 y 0.76 respectivamente), indicando que estas pueden ser usadas como una herramienta objetiva útil para determinar el dolor abdominal agudo en manos de diferentes observadores, permitiendo a los clínicos tomar decisiones médicas, quirúrgicas o de eutanasia (Sutton *et al.*, 2013). En la clínica equina otros de los principales procedimientos que se realizan a diario son las cirugías abdominales, para la determinación y evaluación del dolor post-quirúrgico Pritchett *et al.*, (2003) desarrolló una escala numérica usando indicadores comportamentales y fisiológicos, con el fin de monitorear la eficacia analgésica. Haciendo uso del análisis en el tiempo en segmentos de una hora para cuantificar el comportamiento, Pritchett *et al.*, (2003) encontró que, los equinos con procedimientos postquirúrgicos gastaban más tiempo expresando comportamientos de dolor y menos tiempo realizando locomoción voluntaria.

La escala numérica desarrollada por Pritchett *et al.*, (2003) (Tabla 6), asigna un Puntaje numérico a cada categoría de comportamiento el cual está basado en la descripción de cada uno de ellos. Por otra parte, Sellon *et al.*, (2004) utilizó esta escala numérica para medir la respuesta analgésica del butorfanol en procesos postquirúrgicos de coeliotomías, encontrando un efecto significativo al tratamiento y una alta sensibilidad para determinar comportamientos de dolor en estos pacientes,

sin embargo, el modelo de escala desarrollado por Pritchett *et al.*, (2003), no verifica la correlación entre los observadores. La prueba de umbral nociceptivo, el análisis en el tiempo y el test de analgesia son otro tipo de herramientas que se han venido utilizando para identificar el dolor en equinos sin embargo, requiere de equipos especializados y mayor conocimiento en el área para realizar un análisis correcto de dichos resultados. Por esto se considera que en la actualidad unos de los mejores métodos existentes para identificar y medir la efectividad de la terapéutica son mediante la aplicación de escalas de dolor, para condiciones específicas de cada paciente.

En cuanto a la terapéutica encontramos que existen varios grupos de fármacos disponibles en el mercado para el tratamiento del dolor en equinos, sin embargo, estos fármacos presentan un gran número de efectos adversos que generan sobre el paciente lo que hace considerar si es imperativo o no su uso.

La analgesia polimodal, es un nuevo concepto en el manejo del dolor esta se basa en la asociación de fármacos de diferentes grupos que usados de manera simultánea y correcta permiten lograr un efecto seguro y eficaz. A través de dichas asociaciones, se alcanza un sinergismo analgésico (mayor eficacia), con reducción de los efectos adversos generados por los fármacos (mayor seguridad) en su aplicación, no solo se concibe la asociación farmacológica sino la utilización de diferentes vías de administración de manera simultánea, todo ello para obtener los mayores beneficios de cada fármaco utilizado (Flecknell, 2008; Matthews y Carroll 2007; Reyes *et al.*, 2004). Se considera que el mejor efecto analgésico bajo la concepción de la analgesia polimodal, se logra al asociar, como se ha mencionado, fármacos con diferentes mecanismos de acción, pero principalmente cuando se administran simultáneamente fármacos que ejercen la acción analgésica a nivel central con otros que lo hacen a nivel periférico (Taylor, 2007). Los fármacos antiinflamatorios utilizados en equinos incluyen corticoides y AINEs, estos son usualmente la primera línea de elección en el manejo del dolor relacionado con condiciones de tipo inflamatorio (sinovitis y osteoartritis) (Owens *et al.*, 1996). Generalmente los AINEs son los medicamentos más comúnmente utilizados en

equinos debido a su disponibilidad y bajo costo (Goodrich y Nixon, 2006). La fenilbutazona (4.4 mg/kg IV q 24 horas durante 4 días) y el flunixin meglumine (1.1 mg/kg IV q 24 horas durante 4 días) han sido estudiados con eficacia para el tratamiento del síndrome navicular (Erkert *et al.*, 2005). Por su parte el firocoxib un AINEs selectivo de la COX-2 utilizado IV a dosis de 0.09 mg/kg q 24h, demostró ser efectivo en el tratamiento de la osteoartritis (Orsini *et al.*, 2012). El meloxicam es utilizado comúnmente en la práctica equina en otros países, su eficacia en equinos ha sido establecida para el manejo de dolor post operatorio ortopédico e inflamación. De Grauw *et al.*, 2009 evaluó experimentalmente el meloxicam (0.6 mg/kg vía oral q 24 horas durante 7 días) este mostró ser efectivo para el tratamiento de sinovitis agudas, produciendo una disminución de los biomarcadores inflamatorios en el líquido sinovial y reduciendo significativa de la cojera. Otro AINEs utilizado con menor frecuencia es el diclofenaco, actualmente el único producto veterinario aprobado y disponible en el mercado es en presentación liposomal tópica (73 mg q 12 h), indicada para el control de dolor asociado con inflamación principalmente osteoartritis (Caldwell *et al.*, 2004). Otro de los usos rutinarios de los AINEs en la clínica equina es durante el dolor abdominal en este se utiliza para reducir los efectos de la endotoxemia (flunixin meglumine 0,2 mg/kg IV) y el dolor visceral (flunixin meglumine 1.1 mg/kg IV q 12-24 horas (Baskett *et al.*, 1997; Shuster *et al.*, 1997). Otro grupo de fármacos importante para el manejo del dolor son los opioides, la morfina es el Agonista- μ con el cual se comparan los demás opioides (Combie *et al.*, 1981; Combie *et al.*, 1983). Tradicionalmente se conoce que los Agonistas- μ completos proveen el efecto analgésico más potente, sin embargo el butorfanol (0.01-0.22 mg/kg IV, IM, SC) es reportado por ser igual o más efectivo (con menos potencial de efectos adversos) que los Agonistas- μ en el tratamiento del dolor gastrointestinal en equinos Sellon *et al.*, (2004). El uso de opioides (morfina 0.05-0.2 mg/kg IV, IM) con agonistas- α_2 (0.2-1.1 mg/kg IV, IM) produce un potente efecto sedativo el cual puede ser útil en animales refractarios a la analgesia o cuando se desean realizar procedimientos quirúrgicos (Robertson *et al.*, 2005). El tramadol es otro opioide que se ha usado principalmente para el tratamiento del dolor óseo o articular, la administración epidural de tramadol (1.0

mg/kg) resultó en una disminución significativa de la nocicepción luego de 3 horas posteriores a su aplicación (Natalini y Robinson, 2000). Los anestésicos locales (lidocaína, mepivacaina, bupivacaina, ropivacaina) son frecuentemente utilizados solos o en combinación con otros fármacos analgésicos, estos pueden ser administrados por vía tópica, regional (peri neural, epidural) o sistémicos (Doherty y Frazier, 1998). Cuando son utilizados estos producen analgesia, disminuyendo los requerimientos de anestésicos inhalados, y potenciando la acción analgésica de los opioides y agonistas- $\alpha 2$ adrenérgicos. El uso intra articular de los anestésicos locales para el tratamiento del dolor articular, diagnóstico de cojeras y cirugías articulares es común en la práctica equina, sin embargo, en un estudio *in vitro* en equinos se observó que el uso de bupivacaina (0.02-0.06 mg/kg IA), lidocaína (0.2-0.35 mg/kg) y mepivacaina (0.16-0.2 mg/kg IA) se ha asociado con condrotoxicidad, sin embargo, este estudio mostró que el menor efecto de toxicidad se logra con la mepivacaina (Park *et al.*, 2011). La lidocaína ha sido igualmente utilizada para el tratamiento de afecciones gastrointestinales en un bolo inicial de 1.3 mg/kg seguido de infusiones constantes de 50 mg/kg/min mostrando un buen efecto en promover la motilidad y reduciendo efectivamente el dolor abdominal (Feary *et al.*, 2005). Por su parte los agonistas $\alpha 2$ son analgésicos viscerales potentes, esta propiedad es crucial para el manejo del cólico moderado a severo (Jochle *et al.*, 1989). Los agonistas $\alpha 2$ pueden ser administrados en bolos, dosis, infusión constante o como los opioides también pueden ser administrados por vía intra articular, peri neural y epidural (Di Salvo *et al.*, 2014). Uno de los agonistas $\alpha 2$ mayormente utilizados es la xilacina (IV, IM 0.2-1.1 mg/kg; Epidural 0.17-0.22 mg/kg; IV CRI 0.016-0.69 mg/kg/h), debido al corto efecto sedativo de la xilacina cuando se asocia con el butorfanol (IV, IM, SC 0.01-0.22 mg/kg) actúan como una excelente opción para evaluación y tratamiento del dolor abdominal agudo en equinos (Merritt *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Enfocar la evaluación del dolor es importante para asegurar el bienestar de los pacientes equinos, para desarrollar estas habilidades es de gran importancia para los veterinarios conocer los tipos de dolor, los aspectos fisiopatológicos, los métodos

de identificación y las alternativas terapéuticas que ofrece el mercado para el tratamiento del dolor en equinos. Las escalas de dolor se han convertido en una herramienta diagnóstica importante del dolor en caballos, estas permiten identificar el dolor y evaluar la respuesta a la analgesia, la experiencia y el tiempo de observación son factores que influye en la correlación de la respuesta de los observadores, sin embargo, existen escalas diseñadas que pueden ser utilizadas para patologías específicas que aquejan a los equinos las cuales han demostrado buenos resultados entre varios observadores. El manejo farmacológico del dolor en animales, ha mostrado valiosos avances relacionados con la introducción de nuevos conceptos terapéuticos para la utilización de analgésicos ya existentes, aunque no se evidencia la generación de nuevos grupos farmacológicos, la combinación de los mismos potencia el efecto de estos disminuyendo la cantidad de dosis requerida y a su vez los efectos adversos que su uso genera. la educación continua y la investigación en el manejo del dolor ayudarán a mejorar los métodos para la evaluación objetiva y reproducible del dolor. Apoyar el desarrollo de nuevos fármacos analgésicos y más técnicas analgésicas en consecuencia tendrá un efecto positivo sobre el bienestar animal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexander SL., Irvine CH. 2000. The effect of the alpha-2-adrenergic agonist, clonidine, on secretion patterns and rates of adrenocorticotrophic hormone and its secretagogues in the horse. *J Neuroendocrinol.* 9: 874-880.
2. Ashley, FH., Waterman-Person, AE, Whay, HR. 2005. Behavioural assessment of pain in horses and donkeys: application to clinical practice and future studies. *Equine Veterinary Journal*, 37: 565-575.
3. Bailey, SR y Elliot, J. 2007. The corticosteroid laminitis story: 2. Science of if, when and how. *Equine Vet J*, 39: 7-11.
4. Baskett, A., Barton, MH., Norton, N. 1997. Effect of pentoxifylline, flunixin meglumine and their combination on a model of endotoxemia in horses. *Am J Vet Res.* 58: 1292-1299.
5. Bateson, P. 1991. Assessment of pain in animals. *Anim. Behav.* 42: 827-839.
6. Blackshaw, LA, Gabhart, GF. 2002. The pharmacology of gastrointestinal nociceptive pathways. *Curr Opin Pharmacol*, 2: 642.
7. Bennett, RC., Steffey, EP. 2002. Use of opioids for pain and anesthetic management in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 18: 47-110.
8. Bisgaard, T., Kehlet, H., Rosenberg, J. 2001 Pain and convalescence after laparoscopic cholecystectomy. *Eur. J. Surg.* 167: 184.

9. Bueno, L., Fioramonti, J, Delvaux, *et al.* 1997. Mediators and pharmacology of visceral sensitivity: from basic to clinical investigations. *Gastroenterology*, 112: 1714.
10. Bussieres, G., Jacques, C., Lainay, O., Beauchamp, G., Leblond, A., Cadore, JL., Desmaizieres, LM., Cuvelliez, SG., Troncy, E. 2008. Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Research in Veterinary Science*, 85: 294-306.
11. Büttner, W., Finke, W. 2000. Analysis of behavioural and physiological parameters for the assessment of postoperative analgesic demand in newborns, infants and young children: A comprehensive report on seven consecutive studies. *Pediatric Anesthesia*, 10: 303-318.
12. Caldwell, FJ., Mueller, E., Lynn, RC. 2004. Effect of topical application of diclofenaco liposomal suspension on experimentally induced subcutaneous inflammation in horses. *Am J Vet Res*, 65: 271-276.
13. Capner CA., Lascelles, BD., Waterman-Pearson AE. 1999. Current British veterinary attitudes to perioperative analgesia for dogs. *Veterinary Record*, 145: 95-99.
14. Combie, J., Shults, T., Nugent, EC, *et al.* 1981. Pharmacology of narcotic analgesics in the horse: selective blockade of narcotic-induced locomotor activity. *Am J Vet Res*, 42: 716.
15. Combie, J., Blake, JW., Ramey, BE, *et al.* 1981. Pharmacology of narcotic analgesics in the horse: quantitative detection of morphine in equine blood and urine and logit-log transformations of this data. *Am J Vet Res*, 42: 1523.
16. Combie, J., Nugent, TE, Tobin, T. 1983. Pharmacokinetics and protein binding of morphine in horses. *Am J Vet Res*, 44: 870.
17. Cook, VL., Meyer, CT., Campbell, NB, *et al.* 2009. Effect of firocoxib or flunixin meglumine on recovery of ischemic-injured equine jejunum. *Am J Vet Res*, 70: 992-1000.
18. Dalla, E., Minero, M., Lebelt, D., Stucke, D., Canali, E., Leach, MC. 2014. Development of the horse grimace scale (HGS) as a pain assessment tool in horses undergoing routine castration. *PLoS ONE* 9: e92281.
19. Daunt DA., Steffey EP. 2008. Alpha-2 adrenergic agonists as analgesic in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 18: 39-46.
20. de Grauw, JC., van de Lest, CH., Brama, PA., Rambags, BP., vanWeeren, PR. 2009. In vivo effects of meloxicam on inflammatory mediators, MMP activity and cartilage biomarkers in equine joints with acute synovitis. *Equine Veterinary Journal*, 41: 693-699.
21. Di Salvo, A., Della Rocca, G., Bazzica, C. 2014. A pharmacokinetic/ clinical approach to postulate a local action of intra-articular xylazine administration in the horse: a preliminary study. *J Vet Pharmacol Ther*, 37: 464.
22. Dobromylskyj, P., Flecknell, PA., Lascelles, BD., Livingston, A., Taylor, P., Waterman-Pearson, A. 2000. Pain assessment. In: Flecknell, P.A., Waterman-Pearson, A. (Eds.), *Pain Management in Animals*, pp.53-79.
23. Doherty, TJ, Frazier, DL. 1998. Effect of intravenous lidocaine on halothane minimum alveolar concentration in ponies. *Equine Vet J*, 30: 300.
24. Dujardin, CL, van Loon, JP. 2011. Pain recognition and treatment in the horse: A survey of equine veterinarians in The Netherlands and Belgium. *Tijdschrift Voor Diergeneeskunde*, 136: 715-724.
25. Dutton, DW, Lashnits, KJ, Wegner, K. 2009. Managing severe hoof pain in a horse using multimodal analgesia and a modified composite pain score. *Equine Veterinary Education*, 21: 37-43.

26. Dzikiti, TB., Hellebrekers, LJ., van Dijk, P. 2003. Effects of intravenous lidocaine on isoflurane concentration, physiological parameters, metabolic parameters and stress-related hormones in horses undergoing surgery. *Journal of Veterinary Medicine. A, Physiology, Pathology, Clinical Medicine*, 50: 190-195.
27. Elfenbein, JR., Sanchez, LC., Robertson, SA., et al. 2009. Effect of detomidine on visceral and somatic nociception and duodenal motility in conscious adult horses. *Vet Anaesth Analg*, 36: 162-172.
28. Ellingsen, K., Zanella, AJ., Bjerkås, E., Indrebo, A. 2010. The relationship between empathy, perception of Pain and attitudes toward pets among Norwegian dog owners. *Anthrozoös*, 23: 231-243.
29. Erkert, RS., MacAllister, CG., Payton, ME. 2005. Use of force plate analysis to compare the analgesic effects of intravenous administration of phenylbutazone and flunixin meglumine in horses with navicular syndrome. *Am J Vet Res*, 66: 284-288.
30. Feary, DJ., Mama, KR., Wagner, AE. 2005. Influence of general anesthesia on pharmacokinetics of intravenous lidocaine infusion in horses. *Am J Vet Res*, 66: 574-580.
31. Freeman, SL., Curtis, L. 2015. Developing best practice guidelines on equine colic. *Veterinary Record*, 10: 38-40.
32. Freitas, GC., Carregaro, AB., Gehrcke, MI., De La Corte, FD., Lara, VM., Pozzobon, R., Brass, KE. 2011. Epidural analgesia with morphine or buprenorphine in ponies with lipopolysaccharide (LPS)-induced carpal synovitis. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 75: 141-146.
33. Giamberardino, M 2005. Visceral pain. International association for the study of pain, *Clinical Updates*, 8: 1-6.
34. Gleerup, KB, Lindergaard, C. 2016. Recognition and quantification of pain in horses: A tutorial review. *Equine Veterinary Education*, 28: 47-57.
35. Gleerup, KB., Forkman, B., Lindegaard, C, Andersen, PH. 2014. An equine pain face. *Vet. Anaesth Analg*, 42, 103-114.
36. Goodrich, LR, Nixon, AL. 2006. Medical treatment of osteoarthritis in the horse—a review. *Vet J*, 171: 51–69.
37. Harding, EJ., Paul, ES., Mendl, M. 2004. Animal behaviour: cognitive bias and affective state. *Nature*, 427: 312.
38. Harkins, JD., Stanley., Mundy, GD, et al. 1995. A review of the pharmacology, pharmacokinetics, and regulatory control in the US of local anaesthetics in the horse. *J Vet Pharmacol Ther*, 18: 397.
39. Hewson, CJ., Dohoo, IR., Lemke, KA., Barkema, HW. 2007. Canadian veterinarians' use of analgesics in cattle, pigs, and horses in 2004 and 2005. *Canadian Veterinary Journal*. 48: 155-164.
40. Hielm-bjorkman, AK., Kapatkin, AS., Rita, HJ. 2011. Reliability and validity of a visual analogue scale used by owners to measure chronic pain attributable to osteoarthritis in their dogs. *Am. J. Vet.* 72: 601- 607.
41. Hunter, JO. 2009. Do horses suffer from irritable bowel syndrome? *Equine Vet J*. 41: 836-840.
42. Jochle, W., Moore, JN., Brown J. 1989. Comparison of detomidine, butorphanol, flunixin meglumine and xylazine in clinical cases of equine colic. *Equine Vet J Suppl.* 7: 111.
43. Kielland, C., Skjerve, E., Zanella, AJ. 2009. Attitudes of veterinary students to pain in cattle. *Veterinary Record*. 165: 254-258.

44. Kalpravidh, M., Lumb, WV., Wright, M., *et al.* 1984. Effects of butorphanol, flunixin, levorphanol, morphine, and xylazine in ponies. *Am J Vet Res*, 45: 217-223.
45. Kester, WO. 1991. Definition and Classification of Lameness. Guide for Veterinary Service and Judging of Equestrian Events. American Association of Equine Practitioners (AAEP), 19.
46. Lang, PJ., Davis, M., Öhman, A. 2000. Fear and anxiety: animal models and human cognitive psychophysiology. *Affect. Disord*, 61: 137-159.
47. Lascelles, BD., Capner, CA., Waterman-Pearson, AE. 1999. Current British veterinary attitudes to perioperative analgesia for cats and small mammals. *Veterinary Record*. 145: 601-604.
48. Leigh, JP., Seavey, W, Leistikow, B, 2001. Estimating the costs of job related arthritis. *J Rheumatol*, 28: 1647-1654.
49. Lindegaard, C., Thomsen, MH., Larsen, S., Andersen, PH. 2010. Analgesic efficacy of intra-articular morphine in experimentally induced radiocarpal synovitis in horses. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 37: 171-185.
50. Love, EJ., Taylor, PM., Clark, C., Whay, HR., Murrell, J. 2009. Analgesic effect of butorphanol in ponies following castration. *Equine Veterinary Journal*, 41: 552-556.
51. Love, EJ., Taylor, PM., Whay, HR., Murrell, J, 2013. Postcastration analgesia in ponies using buprenorphine hydrochloride. *Veterinary Record*, 172: 635.
52. MacAllister, CG., Morgan, SJ., Borne, AT, Pollet RA. 1993. Comparison of adverse effects of phenylbutazone, flunixin meglumine, and ketoprofen in horses. *J Am Vet Med Assoc*, 202: 71-77.
53. Mair, T., Divers, T, Ducharme N. 2002. Etiology, risk factors, and pathophysiology of colic. Manual of equine gastroenterology, pp. 101-106.
54. Matthews, N, Carroll, GL. 2007. Review of Equine Analgesics and Pain Management. *AAEP Proceedings*, 53: 240-245.
55. Merritt, AM., Burrow, JA., Hartless, CS. 1998. Effect of xylazine, detomidine, and a combination of xylazine and butorphanol on equine duodenal motility. *Am J Vet Res*, 59: 619-623.
56. Molony, V., Kent, J.E. 1997. Assessment of acute pain in farm animals using behavioural and physiological measurements. *Journal of Animal Science*, 75: 266-272.
57. Muir, WW., Skarda, RT, Sheehan, W. 1979. Hemodynamic and respiratory effects of xylazine-morphine sulfate in horses. *Am J Vet Res*, 40: 1417.
58. Muir, W, Woolf, CJ. 2001. Mechanisms of pain and their therapeutic implications. *J Am Vet Med Assoc*, 219: 1346.
59. Muir, W. 2010. Mechanisms and management in horses. *Vet Clin Equine*, 26: 467-480.
60. Muir, W. 2016. Its diagnosis and management in the rehabilitation of horses. *Vet Clin Equine*, 32: 13-29.
61. Murrell, JC., Johnson, CB. 2006. Neurophysiological techniques to assess pain in animals. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 29: 325-335.
62. Natalini, CC., Driessen, B. 2007. Epidural and spinal anesthesia and analgesia in the equine. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 6: 145-153.
63. Natalini, CC., Robinson, EP. 2000. Evaluation of the analgesic effects of epidurally administered morphine, alfentanil, butorphanol, tramadol, and U50488H in horses. *Am J Vet Res*. 6: 1579-1586.

64. Obel, N. 1948. Studies on the histopathology of acute laminitis. PhD Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. Almqvist and Wiksells, Uppsala, Sweden.
65. Orsini, JA., Ryan, WG., Carithers, DS. 2012. Evaluation of oral administration of firocoxib for the management of musculoskeletal pain and lameness associated with osteoarthritis in horses. *Am J Vet Res*, 73: 664-671.
66. Owens, JG., Kamerling, SG., Stanton, SR, Keowen, ML. 1995. Effects of ketoprofen and phenylbutazone on chronic hoof pain and lameness in the horse. *Equine vet. J*, 27: 296-300.
67. Owens JG., Kamerling, SG., Stanton, SR. 1996. Effects of pretreatment with ketoprofen and phenylbutazone on experimentally induced synovitis in horses. *Am J Vet Res*, 57: 866.
68. Pader, K., Freeman, LJ., Constable, PD., Wu, CC., Snyder, PW., Lescun, TB. 2011. Comparison of transvaginal natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES_) and laparoscopy for elective bilateral ovariectomy in standing mares. *Vet. Surg*, 40: 998-1008.
69. Park, J., Sutradhar, BC., Hong G. 2011. Comparison of the cytotoxic effects of bupivacaine, lidocaine, and mepivacaine in equine articular chondrocytes. *Vet Anaesth Analg*, 38: 127.
70. Price, J., Marques, JM., Welsh, EM, Waran, NK. 2002. Pilot epidemiological study of attitudes towards pain in horses. *Vet Rec*. 151: 570-575.
71. Price, J., Catriona, S., Welsh, EM, Waran, NK. 2003. Preliminary evaluation of a behaviour-based system for assessment of post-operative pain in horses following arthroscopic surgery. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 30: 132.
72. Pozzi, A., Muir, W., Traverso, F. 2006. Prevention of central sensitization and pain by N-methyl- D-aspartate receptor antagonists. *J Am Vet Med Assoc*, 1: 53-60.
73. Pritchett, LC., Ulibarri, C., Roberts, MC., Schneider, RK., Sellon, DC. 2003. Identification of potential physiological and behavioral indicators of postoperative pain in horses after exploratory celiotomy for colic. *Applied Animal Behaviour Science*, 80: 31-43.
74. Raekallio, M., Taylor, PM, Bennett, RC. 1997. Preliminary investigations of pain and analgesia assessment in horses administered phenylbutazone or placebo after arthroscopic surgery. *Vet Surg*, 26: 150-155.
75. Reyes, FA., De la Gala, GF., Garutti, I. 2004. Dolor postoperatorio: Analgesia multimodal. *Patología del Aparato Locomotor*, 2: 176-188.
76. Rezende, ML., Wagner, AE., Mama, KR, et al. 2011. Effects of intravenous administration of lidocaine on the minimum alveolar concentration of sevoflurane in horses. *Am J Vet Res*, 72, 446.
77. Robertson., S.A. 2002. What is pain? *Journal American Veterinary Medical Association*, 221: 202–205.
78. Robertson, SA., Sanchez, CL. 2010. Treatment of visceral pain in horses. *Vet Clin Equine*, 26: 603-617.
79. Robertson, SA., Sanchez, LC y Merritt, AM, et al. 2005. Effect of systemic lidocaine on visceral and somatic nociception in conscious horses. *Equine Vet J*, 37: 122-127.
80. Salazar, V. 2012. Analgesia multimodal en el paciente equino. I congreso solidário de clinica equina, pp. 59-61.
81. Schaafsma, MK. 2009. Assessment of pain in horses after surgical castration. Composition of a pain scale [tesis doctoral, en línea]. Países Bajos: Faculty of

- Veterinary Medicine, Utrecht University. [Consultado: 08 Sept. 2015]. Disponible En: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/33617>
82. Sellon, DC., Monroe, VL., Roberts, MC *et al.* 2001. Pharmacokinetics and adverse effects of butorphanol administered by single intravenous injection or continuous intra- venous infusion in horses. *Am J Vet Res*, 62: 183-189.
 83. Sellon, DC., Roberts, MC., Blikslager, AT., Ulibarri, C., Papich, MG. 2004 Effects of continuous rate intravenous infusion of butorphanol on physiologic and outcome variables in horses after celiotomy. *J. Vet. Intern. Med*, 18: 555-563.
 84. Shuster, R., Traub-Dargatz, J., Baxter G, 1997. Survey of diplomates of the American College of Veterinary Internal Medicine and the American College of Veterinary Surgeons regarding clinical aspects and treatment of endotoxemia in horses. *J Am Vet Med Assoc*, 210: 87-92.
 85. Sutton, GA., Dahan, R., Turner, D, Paltiel, O. 2013. A behaviour-based pain scale for horses with acute colic: Scale construction. *The Veterinary Journal*, 196: 394-401.
 86. Taylor, PM., Pascoe, PJ, Mama, KR. 2002. Diagnosing and treating pain in the horse – Where are we today?. *Vet Clin North Am Equine Pract.*, 18: 1-19.
 87. Taylor, MA. 2007. Control of pain in horses in field practice. *J Vet Intern Med*, 3: 302-307.
 88. Valverde, A., Gunkel, C.I., 2005. Pain management in horses and farm animals. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 15: 295-307.
 89. Van loon, JP., Back, W, Hellebrekers, LJ. 2010. Application of a composite pain scale to objectively monitor horses with somatic and visceral pain under hospital conditions. *Journal Equine Vet Sci*, 30: 641-649.
 90. Wagner, A. 2010. Effects of stress on pain in horses and incorporating pain scales for equine practice. *Veterinary Clinics of North America Equine Practice Journal*, 26: 481-492.
 91. Waran N., Williams VM., Clarke N., Bridge IS. 2010. Recognition of pain and use of analgesia in horses by veterinarians in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*. 58: 274-280.
 92. White, Jp., Cibelli, M y Fidalgo, AR *et al.* 2010. Role of transient receptor potential and acid-sensing ion channels in peripheral inflammatory pain. *Anesthesiology Journal*, 112: 729- 741.
 93. Viñuela-Fernández, I., Jones, E., Chase-topping, ME, Price, J. 2011. Comparison of subjective scoring systems used to evaluate equine laminitis. *The Veterinary Journal*, 188: 171-177.

Diseño de un modelo de franquicias en la industria de comestibles de pan de arroz

Design of a franchise model in the rice bread grocery industry

Projeto de um modelo de franquia no setor de pães de arroz

Monroy Tineo Neidy Marcela¹ y Ayza Yamir Urbina Angarita²

¹Ingeniera Agroindustrial Universidad de los Llanos e

²Ingeniera Agroindustrial, MSc. Docente Universidad de los Llanos

aurbina@unillanos.edu.co

Recibido 27 de agosto 2019, Aceptado 12 de marzo 2020

RESUMEN

La industria del pan de arroz ha consolidado un crecimiento importante en los últimos años, siendo un producto típico del departamento del Meta y en la búsqueda por su expansión hacia mercados nacionales se plantean estrategias de crecimiento en las pequeñas y medianas empresas que producen estos productos; para tal efecto en el presente proyecto se busca diseñar un modelo de franquicias para la Industria de Comestibles de pan de arroz, especializada en esta producción, ubicada en el municipio de Restrepo, Meta, Colombia que le permita expandir sus unidades de negocio y lograr el fortalecimiento de su marca, mediante la creación de manuales operativos que logren estandarizar todos sus procesos. Se determinó que la estructura del sistema de franquicias más adecuada para esta empresa es la de producción, siendo el franquiciador que provee todos los productos al franquiciado, que pueden ser distribuidos de manera ultra congelada y empacada al vacío, listo para hornear y consumir; de esta manera, se controla la calidad de los procesos de elaboración, no se afecta la imagen de la marca por la pérdida de las características propias de los productos.

Palabras clave: Pan de arroz, franquicia, manuales operativos.

ABSTRACT

The rice bread industry has consolidated significant growth in recent years, being a typical product of the Meta department and in the search for its expansion into national markets, growth strategies are proposed in the small and medium-sized companies that produce these products; For this purpose, the present project seeks to design a franchise model for the Rice Bread Food Industry, specialized in this production, located in the municipality of Restrepo, Meta, Colombia that allows it to expand its business units and achieve the Strengthening your brand by creating operating manuals that standardize all your processes. It was determined that the structure of the franchise system most suitable for this company is that of production, being the franchisor that provides all the products to the franchisee, which can be distributed ultra frozen and vacuum packed, ready to bake and consume; in this way, the quality of the manufacturing processes is controlled, the brand image is not affected by the loss of the characteristics of the products.

Keywords: Rice bread, franchise, operating manuals.

RESUMO

A indústria do pão de arroz consolidou um crescimento significativo nos últimos anos, sendo um produto típico do departamento Meta e na busca por sua expansão nos mercados nacionais, estratégias de crescimento são propostas nas pequenas e médias empresas que produzem esses produtos; Para esse fim, o presente projeto busca projetar um modelo de franquia para a Indústria de Alimentos para Pão de Arroz, especializada nessa produção, localizada no município de Restrepo, Meta, Colômbia, que permite expandir suas unidades de negócios e alcançar Fortalecendo sua marca, criando manuais operacionais que padronizam todos os seus processos. Foi determinado que a estrutura do sistema de franquias mais adequada para essa empresa é a estrutura de produção, sendo o franqueador que fornece todos os produtos ao franqueado, que podem ser distribuídos ultracongelados e embalados a vácuo, prontos para assar e consumir; dessa forma,

a qualidade dos processos de fabricação é controlada, a imagem da marca não é afetada pela perda das características dos produtos.

Palavras-chave: Pão de arroz, franquias, manuais de operação.

INTRODUCCIÓN

El modelo de franquicias es un sistema celebrado entre dos partes el franquiciador cede a sus franquiciados, que es la otra parte, los derechos de uso y comercialización de su marca, bajo un concepto de desarrollo de negocio que ha sido creado por él mismo (Alcalzar 2011), esto, a cambio de una contra-prestación económica que contiene términos y condiciones pactados mediante un contrato. La principal característica de este sistema es el bajo riesgo de inversión al que se expone el franquiciado y la capacidad de rápido crecimiento y expansión del franquiciador.

En Colombia, la implementación y comercialización de franquicias ha aumentado en los últimos 12 años en cifras significativas, siendo considerado por la asociación internacional de franquicias como el tercer país con mayor potencial de crecimiento después de India e Indonesia (Amarocho, 2019). En estos términos, el sector que muestra más unidades franquiciadas es el alimenticio, pues diferentes empresas incorporan este modelo de negocio dentro de sus planes de expansión; es así como la industria colombiana de comestibles entre ellas las productoras de pan de arroz, un bocado típico de la región de los Llanos Orientales, busca adaptarse a este tipo de sistema para diversificar su mercado a nivel nacional y no solamente regional.

La industria del pan de arroz es una cadena productiva que mueve alrededor de \$7.526 millones de pesos cada año, impulsando el desarrollo económico y forjando la cultura y el empleo en el departamento del Meta, siendo los principales productores los municipios de San Martín, Villavicencio y Restrepo, con una cantidad diaria de 14.500 paquetes. Los principales mercados de este producto son a nivel regional, sin embargo, ha dado inicio a una expansión hacia las principales ciudades del país mediante diferentes estrategias Gobernación del Meta, (2016). Es allí donde la franquicia es importancia, pues como un modelo flexible de negocio,

permite al franquiciante, establecer una amplia red comercial, proporcionando un posicionamiento más acelerado en el mercado y reforzando la identidad de su marca, además de la posibilidad de brindar un soporte permanente de la organización sobre su imagen, operatividad, marketing y publicidad, a la vez que asegura sus operaciones, puesto que por ser un modelo de negocio que comprobado ser exitoso, tiene un menor riesgo de fracaso, pues “el 90% de los de los establecimientos comerciales franquiciados tienen la capacidad de sobrevivir por más de cinco años” (Jaramillo, 2016).

En Colombia, el crecimiento del modelo de franquicias ha mostrado gran auge en los últimos años, de acuerdo a la Cámara Colombiana de Franquicias (Colfranquicias) (CCB, 2017). en los últimos años este tipo de negocios ha presentado un incremento sostenido, siendo del 7% para el año 2015 y del 29,7% al cerrar el 2017, esta alza se da debido a las condiciones de la economía y las ventajas competitivas del mercado nacional, pues se constituye como el tercer país con la mayor potencialidad de crecimiento en el mundo después de India e Indonesia y el cuarto en número de franquicias a nivel latinoamericano. El número de unidades franquiciadas en el país alcanzo un total de 506 marcas nacionales e internacionales con alrededor de 12.900 empresas, de las cuales el 37% son pertenecientes al sector gastronómico siendo este el de mayor participación con alrededor de 188 empresas (CCB, 2017).

Ante la notable expansión de franquicias en el país se creó la Norma Técnica Colombiana 5813, la cual tiene como objeto de establecer de manera general los requisitos básicos de una franquicia, debido a que se hace necesario que el franquiciante estructure el formato de franquicias, estandarice y documente sus procesos administrativos y operativos, definiendo los lineamientos legales entre las partes interesadas (ICONTEC, 2010).

HISTORIA DE LAS FRANQUICIAS

Buscando en la historia, el término franquicia surge en Francia en la edad media y significaba la concesión de derechos por parte de los gobernantes para autorizar a

sus subordinados a realizar labores de pesca y caza en determinados lugares. Sin embargo, el sistema de franquicias como tal surge en Estados Unidos a mediados del siglo XIX después de la guerra civil, cuando Isaac Singer, dueño de la compañía fabricante de máquinas de coser Singer & Co. establece el sistema de franquicias para que sus máquinas se pudieran distribuir y comercializar en todo el mundo. En adelante surgen otras empresas que empiezan a adoptar la misma estrategia como el caso de General Motors, Ford, Coca Cola, Texaco y Standard Oil, pero el auge real de las franquicias comenzó después de la segunda guerra mundial cuando se reactivó la producción civil y las empresas se vieron en la necesidad de expandir sus mercados y fue así como surgieron grandes casos productoras de alimentos de comidas rápidas y supermercados de tal forma que para el año 1960 se crea la IFA (Internacional Franchise Association) con el fin de garantizar que todos sus asociados estén regidos por un código de ética. Para el año 1988 en EEUU existían aproximadamente medio millón de negocios franquiciado y para el año 2018 se estima una cantidad de 759.000 establecimientos franquiciado (Mosquera, 2010).

Por su parte la franquicia en Colombia tuvo sus inicios hacia el año 1980 con la llegada de la cadena de establecimientos estadounidense de comidas rápidas Burger King, seguido de compañías como Kokoriko, Frisby y Presto. Hacia los años 90 continua el crecimiento de este tipo de negocios, principalmente del sector gastronómico, surgiendo franquicias de compañías como Mc Donald, Crepes and Waffles, Subway y Dunkin Donuts y Sándwich Cubano (Rodríguez y Mora, 2013).

¿QUÉ ES UNA FRANQUICIA?

Se pueden encontrar diversas definiciones de franquicia, según diferentes órganos nacionales e internacionales que se han creado alrededor del mundo con el fin de garantizar la protección a la industria de las franquicias; dentro de los más importantes se encuentran la Asociación Internacional de Franquicias (IFA) y La federación europea de la franquicia (FEF) (Mosquera 2010). La Asociación Internacional de Franquicias (IFA) es la organización más antigua y más grande que representa a las franquicias en todo el mundo y define la franquicia simplemente como un método para expandir un negocio y distribuir bienes y servicios a través de

una relación de licencia, en la cual los franquiciadores no solo especifican los productos y servicios que ofrecerán los franquiciados, sino que también les proporcionan un sistema operativo, una marca y soporte (Restrepo y Barrera, 2018).

Entre tanto, la Federación Europea de la Franquicia (FEF) define la franquicia como: Un sistema de comercialización de productos y/o servicios y/o tecnología, basado en la colaboración estrecha y continuada entre empresa legal y financieramente distinta e independiente, el franquiciador y sus franquiciados individuales, por el cual el franquiciador concede a sus franquiciados individuales el derecho e impone la obligación de llevar un negocio de conformidad con el concepto del franquiciador. Este derecho faculta y obliga al franquiciado individual, a cambio de una contraprestación económica, directa o indirecta, a utilizar el nombre comercial y/o la marca de productos y/o servicios, el know-how, los métodos técnicos y de negocio, los procedimientos, y otros derechos de propiedad industrial y/o intelectual del franquiciador, apoyado en la prestación continua de asistencia comercial y técnica, dentro del marco y por la duración del contrato de franquicia escrito, pactado entre las partes a tal efecto (Restrepo y Barrera, 2018).

Según Arredondo, (2003) en cualquier definición, surgen puntos en común alrededor del significado de una franquicia, tales como: relación entre ambas partes que se materializa mediante una licencia o contrato; el franquiciador debe transmitir al franquiciado la operatividad de su negocio, conocido también como know-how o saber hacer; el franquiciador debe ofrecer al franquiciado constante asistencia técnica y comercial; el franquiciado debe pagar un canon a cambio de la explotación de la marca del franquiciante.

En términos generales, un sistema de franquicias se compone de dos partes interdependientes, un franquiciador, el cual cede el derecho a utilizar su marca a un franquiciante, a cambio de una compensación monetaria, la cual se define mediante un contrato en el que además se estipulan las obligaciones, derechos y límites de las partes involucradas. Cabe aclarar que una franquicia no es sinónimo de distribuidora, comercializadora, ni tampoco es una sociedad.

TIPOS DE FRANQUICIAS

De acuerdo a su actividad, ubicación y relación entre franquiciador y franquiciado, las franquicias se pueden clasificar de la siguiente manera: industrial, de distribución, de producción, de servicios y mixta. Para efectos de este caso se realizó con enfoque en las franquicias de acuerdo con su actividad comercial, puesto que la Industria de Comestibles de pan de arroz se va expandir bajo un modelo de franquicia de producción. En la de tipo industrial: el franquiciador como el franquiciado fabrican los productos, el primero, además de ceder el derecho de comercializarlos entrega su conocimiento de cómo se elaboran los mismos, adicionalmente debe facilitar los procedimientos administrativos, de gestión y de ventas. La de **producción**: es un contrato en el cual el franquiciador es quien fabrica todos los productos y los vende al franquiciado, asegurando así la venta de su producción. La de **distribución**: se da cuando el franquiciador actúa como una central de compras, adquiriendo todos los productos para entregar al franquiciado, los cuales son fabricados por empresas externas. La de **servicios**: son las que se ofrece un conjunto de servicios mediante una metodología que ha sido otorgada por el franquiciador, en este caso se acrecienta la importancia de transmitir un buen conocimiento. Por últimos la **mixta** es aquel tipo de franquicia en el que se articula el modelo de negocio de productos y servicios (Silva, 2003).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA FRANQUICIA

El sistema de franquicias como modelo comercial tiene prometedoras ventajas de rentabilidad y éxito, sin embargo, se pueden presentar inconvenientes que dependen en gran parte se acuerden las obligaciones estipuladas entre las partes. Una ventaja es que el franquiciador tendrá una rápida expansión con menores costos de inversión, obteniendo mayor rentabilidad, a su vez se refuerza la identidad de su marca y diversifica sus ingresos al recibir un pago de regalías; mientras que el franquiciado se beneficia de la experiencia, imagen, publicidad y marketing del franquiciante, reduciendo el riesgo de fracaso y aprovechando la asistencia técnica proporcionada. Una de las desventajas es no tener una buena comunicación entre la partes o desacuerdos, a la hora de realizar la gestión de procesos administrativos,

aunque los franquiciados son independientes, tienen poco control y libertad sobre los métodos de operación en la empresa, lo cual es un riesgo por el mal uso de la marca, sin embargo, estas consideraciones deben ser estipuladas mediante el contrato legal que firman las partes interesadas (PROMPERÚ, 2012).

¿COMO FRANQUICIAR UNA EMPRESA?

Inicialmente el empresario que decide franquiciar su marca debe tener previo conocimiento de cómo funciona este sistema, las leyes que lo regulan y sus condiciones y características, por lo que debe respaldarse de un consultor especializado en el tema. Una vez informado, le corresponde determinar las posibilidades de convertirse en franquiciante, lo que incluye el cumplimiento de los siguientes aspectos fundamentales: 1. Ser marca reconocida y que se encuentre debidamente registrada. 2. Ser negocio sea atractivo, rentable y le dé seguridad de éxito a los franquiciados potenciales. 3. Ser un modelo de negocio fácil de transmitir y replicar mediante el conocimiento (Know-how). 4. Tener un producto excelente, que sea atractivo para los clientes y que cuente con un mercado potencial y en expansión (Ramírez, 2017).

Luego de determinar la preparación como empresario para convertirse en franquiciador se deben realizar la definición del modelo de franquicia, esto es, el análisis profundo de todos los aspectos que lo rodean, desde estructura, valores, posicionamiento, clientes, hasta el análisis global de producción y servicios, análisis financiero, viabilidad económica y estudios de mercado; esto con la finalidad de establecer la estructura central del franquiciador para definir su capacidad de soporte a todo el sistema de franquicias. Una vez definido el modelo de negocio franquiciable se procede a completar el sistema de franquicias (Figura 1) el cual se complementa con las bases legales y jurídicas, la documentación correspondiente a manuales operativos y la estrategia para la expansión de la red (CEF, consultado 2018).

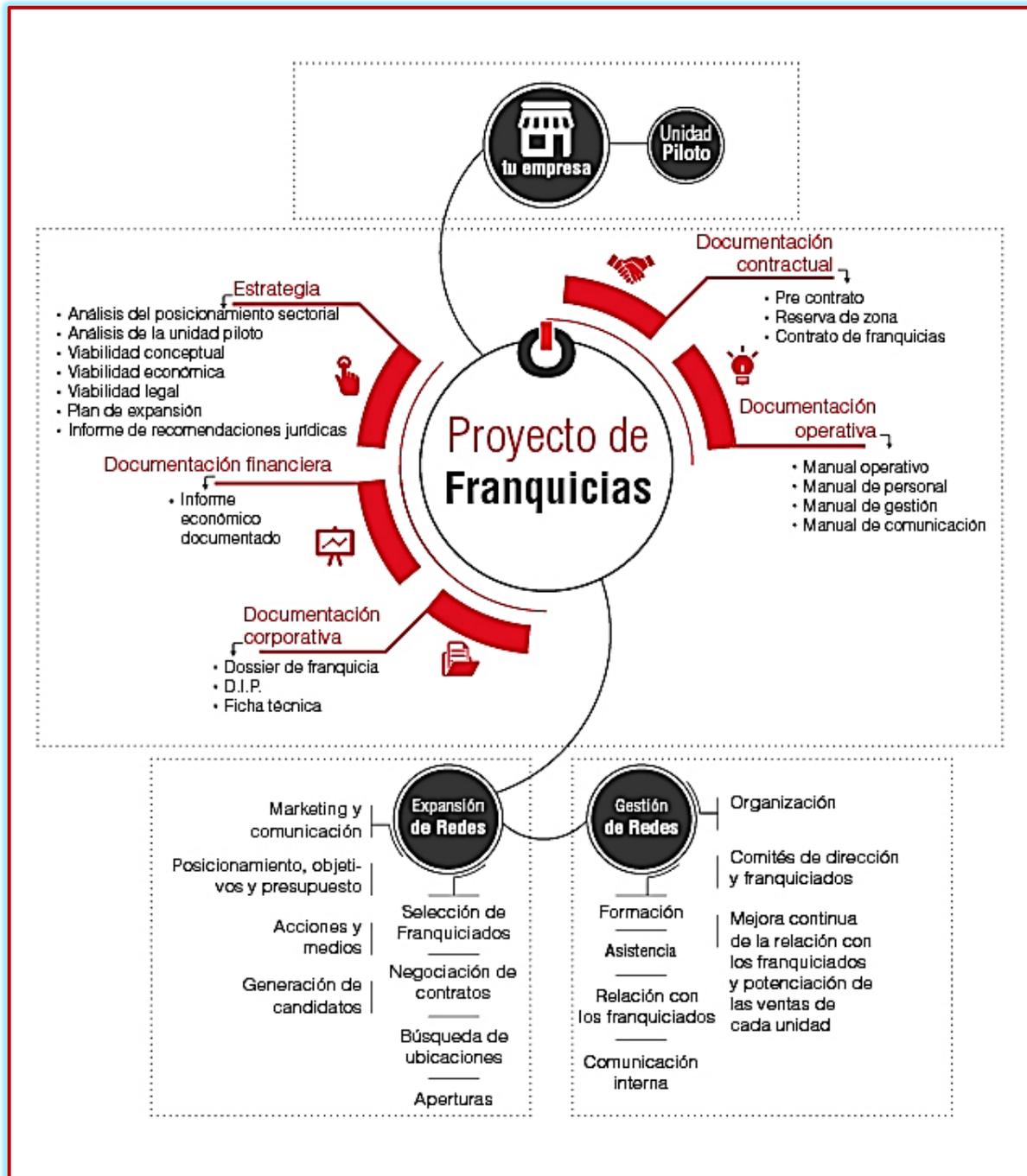


Figura 1. Sistema de franquicia. **Fuente:** (CEF), consultado el 2 de agosto 2018

DOCUMENTACIÓN JURÍDICA O CONTRACTUAL

Crear una red de franquicias abarca tres partes fundamentales: Organización del modelo de franquicia, desarrollo de las bases documentales (informativas, operativas, contractuales) y diseñar las estrategias de expansión.

Los aspectos legales de una empresa son determinantes para su correcto funcionamiento, es por ello que al crear una red de franquicias se debe estructurar un contrato que es el elemento base para regular los derechos y deberes de franquiciador y franquiciados, en ocasiones también se diseña un precontrato. Este tipo de documento no tiene una estructura definida, pues esta depende del país en donde se vaya a implementar y la normatividad que regule este tipo de contratos. En Colombia el contrato de franquicia no se encuentra regulado ni definido por la normatividad interna, lo que lo convierte en un contrato atípico, sin embargo existe normatividad que puede ser aplicable, estos contratos se pueden regir por la ley mercantil, puesto que el objeto del contrato de franquicia está relacionado con las actividades señaladas en el artículo 20 del Código de Comercio como actividades de tipo mercantil, por lo cual le son aplicables las disposiciones generales señaladas en este código para los contratos mercantiles (Loaiza, 2012).

Por otra parte algunos empresarios y organizaciones como la cámara de comercio de Bogotá han creado una serie de herramientas para fomentar el modelo de franquicia en nuestro país, de este tipo de iniciativas surgió la Norma Técnica Colombiana 5813, desarrollada por el organismo nacional de normalización ICONTEC; teniendo como objeto el establecimiento de los requisitos básicos, así como las buenas prácticas comerciales, que las partes interesadas deben observar en la relación pre-contractual, contractual y post contractual de una franquicia. En esta Norma se consideran cuatro elementos fundamentales, objetivo, términos y definiciones, requisitos para franquiciar una marca y los elementos esenciales de un contrato, estos últimos son: modelo de negocio franquiciado, condiciones de uso de licencia, régimen de asistencia técnica y vigencia y territorio sobre el cual se concede el derecho de uso de la franquicia (CC, 1971; ICONTEC, 2010).

DOCUMENTACIÓN INFORMATIVA O CORPORATIVA

La documentación informativa de una franquicia se hace referencia al *dossier*, que no es más que un documento escrito que contiene información básica de un tema, en este caso, el *dossier* informativo es una herramienta de marketing y ventas, dirigida a los posibles franquiciatarios, en la que se exponen aspectos básicos del

modelo de negocio de una forma precisa y atractiva para el futuro inversor. Un *dossier* de franquicia no tiene una estructura definida, pues el diseño del mismo es propio de cada empresa; la clave de su elaboración es el enfoque de transmitir la información de interés para el público al que va dirigido. Sin embargo, es vital la inclusión de los siguientes datos: 1- Historia de la organización, misión, visión, valores corporativos. Descripción de la actividad empresarial, productos ofrecidos, características, imágenes, distintivos de marca. 3- Ventajas competitivas del negocio 4- Cifras de crecimiento que revelen el posicionamiento de la marca en el mercado 5- Información práctica sobre como adquirir la franquicia, beneficios, ventajas. 6-Desglose de inversión y 7- Finalmente, datos de contacto para recibir mayor información (ICONTEC, 2015).

DOCUMENTACIÓN OPERATIVA

Antes de hablar sobre la documentación operativa se debe mencionar el concepto de Know-how o saber-hacer, de acuerdo con la NTC 5813 es un conjunto o sistema de conocimientos, experiencia y/o prácticas que conforman el saber hacer del Franquiciante, es la base que le ha permitido alcanzar el éxito y que debe transmitirse al franquiciado en forma de manuales que contribuyen a la homogenización de toda la red de franquiciatarios (ICONTEC, 2015).

Manual técnico. Constituye la base fundamental de los manuales operativos, en él se consigna información respectiva a los productos, fichas técnicas, procesos, proveedores, equipos, procedimientos de limpieza y desinfección, buenas prácticas de manufactura, sistemas de gestión de calidad e instalaciones de los locales.

Manual de estructura organizativa y personal. Incluye el organigrama de la central de franquicias, sus funciones y así mismo define la de sus franquiciados, obligaciones, responsabilidades, número de empleados, perfil de los colaboradores, desempeño y normas en el puesto de trabajo.

Manual de imagen corporativa y gestión comercial. Mediante este manual se realizará la identidad visual de la marca, con aspectos claves como logotipo, colores, mobiliario, tipografía y elementos decorativos en general. Además,

establece los lineamientos para atender quejas y reclamos y brinda herramientas de publicidad y promociones, política de precios, técnicas de venta, de motivación y fidelización para el cliente (ICONTEC, 2015).

EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE FRANQUICIA

Una vez se ha definido el concepto de negocio se deben poner en marcha las estrategias para la comercialización de la franquicia, pues el éxito de las mismas se fundamenta en su capacidad de desarrollo, para ello se deben tener en cuenta los siguientes criterios: 1-Conocer las limitaciones y capacidad de respuesta de la central franquiciadora, por ejemplo, si es una franquicia de producción de saber cuál es su capacidad instalada en planta para determinar cuántas unidades franquiciables puede solventar. 2- Posteriormente se debe definir a que lugares se quiere llegar con la franquicia, estudios de mercado, aclarar el tema de exclusividad de zona que debe garantizarse. 3- Luego de establecer los anteriores criterios se procede con el plan de expansión, mediante el uso de diferentes herramientas como medios de comunicación, asistencia a ferias y congresos de franquicias, medios de comunicación y campañas de marketing en las zonas de expansión definidas con anterioridad con las cuales se refuerza la imagen corporativa de la marca y se pretende la captación de los potenciales franquiciados (Mosquera, 2010)

LA FRANQUICIA EN COLOMBIA

Las franquicias se han consolidado en Colombia en los últimos años como una gran estructura empresarial, ya que son una muy buena opción para la expansión de una marca, tienen alta permanencia en el tiempo y son una fuente de generación de empleo.

Para el año 2015 el número de franquicias en el país alcanzaba 384 marcas, en el 2016 aumento a 443 y en lo corrido del año 2018 se han registrado 506 empresas consolidadas mediante este modelo, según, presidente de la junta directiva de Colfranquicias 294 son nacionales y 212 extranjeras, siendo el sector gastronómico el que encabeza la lista con un total de 188, seguido por los sectores de servicio (86) y moda (82); cifras que llevan al país a ocupar el cuarto lugar de Latinoamérica

en cantidad de franquicias después Brasil, México y Argentina. Además, por las condiciones del mercado, Colombia presenta un crecimiento económico favorable, constituyéndose como el tercer país con la mayor potencialidad de crecimiento de las franquicias a nivel mundial según un estudio realizado por la International Franchise Association (IFA), el cual fue presentado en el marco del World Franchise Council (WFC) que se reunió en Moscú a finales de mayo del 2017, por lo que se espera seguir creciendo de forma exponencial con la llegada de marcas extranjeras y nuevos emprendedores nacionales (Jaramillo, 2018).

LA FRANQUICIA EN EL META

Este modelo de negocio ha mostrado su expansión en las grandes urbes del país como Bogotá, Medellín y Valle del Cauca, sin embargo el departamento del Meta y su capital Villavicencio tienen grandes ventajas como su cercanía a la capital, el dinamismo de su economía y crecimiento de sus mercados, que se ven reflejados en gran parte en la apertura de diferentes centros comerciales que permiten la llegada de múltiples marcas nacionales y extranjeras, en los últimos 5 años han llegado tres nuevos complejos comerciales, Único Outlet en el año 2013, Viva Villavicencio en 2014 y Primavera urbana en el año 2016, con alrededor de 300 marcas diferentes que promueven la expansión del sistema de franquicias en la región.

FRANQUICIA PARA UNA INDUSTRIA DE PAN DE ARROZ

De allí surge la importancia del diseño del modelo de franquicia y la documentación de los manuales para una Industria de Comestibles de pan de arroz, orientado a garantizar que la franquicia opera con altos niveles de calidad, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma internacional ISO 9001 y otorgando así al franquiciante una herramienta que brinda un valor agregado a todas las operaciones de su negocio y que además le permite una rápida expansión, posicionamiento de marca en el mercado nacional, mayor cobertura de mercados y el aprovechamiento de economías de escala (INCONTEC, 2015).

El pan de arroz es un snack horneado que se elabora a partir de la mezcla de arroz, cuajada, levadura, margarina, azúcar y sal, también conocido como rosquitas o rosquillas de arroz y queso, su presentación clásica es en forma de aros crujientes, sin embargo, también se encuentra como pan de arroz blando (Figura 2).



Figura 2. Pan de arroz, producto horneado producido en el departamento del Meta

Las empresas que elabora este producto deben contar con notificación sanitaria para sus, expedida por el INVIMA, mediante la cual la empresa tiene la facultad para elaborar, comercializar, importar, exportar, envasar, procesar, y vender sus productos, los cuales se encuentran categorizados como de bajo riesgo sanitario desde el punto de vista microbiológico (MSPS, 2015), de esta manera las empresas cumplen su misión como y contribuyen al bienestar de las personas, produciendo y comercializando productos de máxima calidad a través de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), rigiéndose mediante la resolución 2674 (MSPS, 2013), mediante la cual se verifican y se garantizan las condiciones higiénico sanitarias del entorno y las etapas de producción, procesamiento, empaque, almacenamiento, transporte y comercialización de los productos, para que estas no constituyan un factor de riesgo de contaminación de los mismos.

De igual manera estas empresas deben contar con la documentación requerida por la ISO 9001 en los referente al sistema de gestión de calidad, referente al manual de calidad, política y objetivos de calidad y los procedimientos y registros pertinentes

para obtener una consistencia de las operaciones de la organización, proporcionar claridad sobre los procesos y por ende conseguir un sistema de gestión funcional, que además le permite ofrecer su modelo de negocio como un sistema de franquicias (ICONTEC, 2015).

Se diseñó un modelo de franquicias para una Industria de comestibles de pan de arroz, mediante una metodología, que fue descrita anteriormente. En este proceso se recopiló la información y definición del tipo de franquicia, desarrollando los manuales operativos que le permiten transmitir el saber-hacer como compañía a sus futuros franquiciados. Las fuentes de información para realizar este trabajo, pues fueron primarias tomadas de entrevistas con personal administrativo y operativo, con la finalidad de diagnosticar los aspectos inherentes a su operatividad, determinando las características actuales de su modelo de negocio, de esta manera, se procedió con el diseño del sistema de franquicia apropiado para esta organización.

De acuerdo con el diagnóstico la franquicia seleccionada fue la de producción, siendo esta industria el franquiciador que fabrica la mayor parte de los productos y el franquiciado se encarga de la distribución, comercialización, y elaboración de algunos productos en específico, teniendo como garantía la calidad e imagen de la marca ante el mercado. De esta forma, se definió: ¿qué ofrece la empresa productora de pan de arroz como franquiciador?, ¿cómo lo ofrece? y ¿qué se requiere por parte del futuro franquiciado?, es decir, misión y visión como franquicia, objetivos estratégicos del sistema, productos de la empresa, propuesta de valor y documentación de los requisitos y formatos necesarios para los procesos de solicitud, evaluación y selección de franquiciados, reuniendo los anteriores parámetros en un manual denominado manual de franquicias, que además recopila los siguientes manuales:

Manual de operaciones: Es uno de los manuales que constituyen la base fundamental del sistema de franquicias, pues en él se plasmó la información correspondiente a instalaciones, equipos, productos, procesos de elaboración y

procedimientos operativos estándares de calidad, que incluye el plan de saneamiento básico y sus programas prerequisites.

Manual de administración y recursos humanos: El manual de recursos humanos presenta la estructura organizativa de las franquicias de la empresa productora pan de arroz y ofrece al franquiciado los lineamientos para selección y contratación de personal idóneo, perfiles de puesto y el reglamento interno de trabajo. Por su parte, el manual administrativo, incluye información para una gestión adecuada respecto a los procesos de aprovisionamiento de insumos y materias primas, control de inventarios, administración de caja, manejo de quejas y reclamos, procesos de venta y política de precios.

Manual de imagen corporativa: En él se definen y describen los lineamientos para el buen uso de los componentes visuales de la marca empresa productora pan de arroz como logotipo, tipografía y uniformes, estableciendo la homogeneidad grafica de la misma.

Manual jurídico: Define la relación del acuerdo pactado entre empresa productora pan de arroz en calidad de franquiciador y su franquiciado, estableciendo pautas anteriores a la firma de la documentación, derechos y obligaciones de las partes, condiciones de pago, reserva, confidencialidad, duración y finalización del contrato. Este manual se desarrolló bajo la asesoría de un profesional de derecho de la empresa productora pan de arroz.

CONCLUSIONES

Los manuales de franquicia son una herramienta que permiten organizar y controlar la información de una o más unidades administrativas de cualquier industria, independientemente de su actividad comercial, contribuyendo a la estandarización de los métodos de trabajo, mediante documentos que manejan información formal y sirven de apoyo para la mejora continua de los procesos, estableciendo controles administrativos, derechos y deberes de las partes y evitando la implementación de procedimientos incorrectos de parte del franquiciante y del franquiciado, de tal forma

que deben ser redactados de forma clara y precisa para que puedan ser comprendidos y adaptados por los franquiciados.

Los manuales de franquicia son únicos y exclusivos para cada industria, y no existe una normatividad que regule su elaboración, su contenido es el resultado del análisis que establece cada organización para definir cómo va a franquiciar su negocio.

Se determinó que la estructura del sistema de franquicias más adecuada para la empresa productora pan de arroz es la de producción, en la que el franquiciador provee de todos sus productos al franquiciado, gracias a que, en su amplio portafolio, la mayor parte de productos son empaquetados y su producto bandera, el pan de arroz, puede ser distribuido ultra congelado y empacado al vacío, listo para hornear y consumir; de esta manera, se controla la calidad de los procesos de elaboración, no se afecta la imagen de la marca por la pérdida de las características propias de los productos y se lleva un registro de las quejas o reclamos presentadas por el consumidor final. No obstante, es necesario propiciar toda la información correspondiente a los procesos operativos a través de los manuales de franquicias.

La documentación contractual es única para cada unidad franquiciada y debe modificarse en función de criterios como tiempo de duración del contrato, exclusividad territorial a otorgar, número de franquicias que posea el franquiciado y ubicación de la misma.

La elaboración de este manual permitió reunir y aportar información general de interés para las Mipymes agroindustriales que busquen la formulación de proyectos orientados a consolidar su negocio mediante el sistema de franquicias; destacando sus principales características, impulsando la actualización y aplicación de nuevos procedimientos, la introducción de nuevos productos, la vigilancia de los procesos en el marco de las Buenas Prácticas de Manufactura; permitiendo una mejor inserción de las empresas en los mercados locales y nacionales, gracias a que la integración de estos aspectos a lo largo de toda la cadena de producción y abastecimiento, el manejo adecuado de la información (comunicación entre áreas o

eslabones de cadenas), la observación de los mercados y la adecuada planificación de agroindustrias permite no sólo el avance del sector sino la consolidación de las empresas, el crecimiento y posición de su marca, garantizado la inocuidad de sus productos y la calidad de sus servicios.

El diseño de este modelo de franquicias de la empresa productora pan de arroz permitió la aplicación de diferentes áreas de conocimiento del plan de estudios adquiridos durante la formación como Ingeniero Agroindustrial, entre las cuales se destacan aseguramiento de la calidad, administración de la producción, formulación y evaluación de proyectos, administración y mercadeo agroindustrial.

RECOMENDACIONES

Lo manuales de franquicia son documentos que están sujetos a cambios constantes por modificaciones o actualizaciones en la marca o procesos, por lo cual se recomienda revisar periódicamente. Los manuales operativos son una herramienta para asegurar la calidad de los productos fabricados y comercializados, sin embargo, se recomienda implementar una metodología de entrenamiento y capacitación para reafirmar la información allí consignada.

Posterior a la aplicación del sistema de franquicias de la empresa productora pan de arroz se debe analizar si en efecto la franquicia de producción es la más acorde a su organización o puede replantear el sistema para otorgar nuevas franquicias de tipo industrial, en las cuales los franquiciados elaboren todos los productos de la compañía, lo que indicaría la modificación del manual operativo y la documentación contractual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcázar, E. 2011. Circular Oferta de Franquicia. (31 de Enero). Obtenido de Entrepreneur: Disponible: <https://www.entrepreneur.com/article/263976>
2. Amorocho J. 2019. Franquicias esperan volver a llegar a dos dígitos en este año. entrevista con Luis Felipe Jaramillo Lema, vicepresidente internacional de Colfranquicias y director de la Feria Internacional de Negocios y Franquicias, publicado en El Colombiano el 5 de febrero. Disponible: <https://www.elcolombiano.com/negocios/franquicias-esperan-volver-a-llegar-a-dos-digitos-en-este-ano-LF10158276>

3. Arredondo, J. 2003. Los Sistemas de Franquicias y el Fenómeno Emprendedor". En: Debates IESA, 9 (1): 28-29.
4. Cámara de Comercio (CC). 1971. Código de Comercio de Colombia, Decreto 410 de 1971, 435 p. Disponible: <https://arrincondelparque.com/images/documentos/codigo-comercio.pdf>
5. Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). 2017. Aspectos a tener en cuenta al comprar o vender una franquicia. Disponible: <https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-sector-Agricola-y-Agroindustrial/Noticias-2017/Aspectos-a-tener-en-cuenta-al-comprar-o-vender-una-franquicia>
6. Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (PROMPERÚ). 2012. Guía para la elaboración de manuales de franquicias 312 p. Disponible: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Manuales%20de%20Franquicias.pdf>
7. Confederación de Empresarios de Andalucía. La franquicia en la creación de empresas. [En línea]. Sevilla, España, jun. 2016. Disponible en: <https://musashi.es/wp-content/docs/franquicia-empresas.pdf>
8. Consulta expertos en franquicias (CEF). Como franquiciar un negocio. [En línea]. Madrid, España. [Consultado 03 agosto 2018]. Disponible en: <http://www.consultafranquicias.es/como-franquiciar-un-negocio/>
9. Forero, J. 2012. Desarrollo de la franquicia en el departamento del Meta. En: *Estrategias*, 10 (20): 10-15.
10. Gobernación del Meta. 2016. El pan de arroz podría ser incluido en la lista de patrimonio inmaterial de la Nación. Boletín de prensa No. 1000 [en línea] Disponible en: <http://www.meta.gov.co/web/blog/el-pan-de-arroz-podr%C3%ADa-ser-incluido-en-la-lista-de-patrimonio-inmaterial-de-la-naci%C3%B3n>
11. ICONTEC Internacional. Norma Técnica Colombiana (NTC) 5813. .2010. franquicias. requisitos generales para la etapa precontractual, contractual y postcontractual de una franquicia. 13 p. Disponible en: <https://docplayer.es/9764054-Norma-tecnica-colombiana-5813.html>
12. ICONTEC. Norma técnica Colombiana (NTC)- ISO 9001. 2015. Sistemas de gestión de la calidad- requisitos. 47 p. Disponible en: https://escuelajudicial.ramajudicial.gov.co/sites/default/files/NORMA_ISO9001_2015.pdf
13. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Franquicias. Requisitos generales para la etapa precontractual, contractual y pos contractual de una franquicia. NTC 5613. Bogotá D.C. 2015.
14. Jaramillo L. 2016. Más del 90% de negocios franquiciados sobreviven por encima de 5 años. Revista Dinero., publicado 10 de noviembre. Disponible en: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/el-negocio-de-las-franquicias-en-el-congreso-del-comercio-detallista/234723>
15. Jaramillo L. Colombia. 2018. Tercer mercado mundial para franquicias Portafolio julio 08. Disponible en: <https://www.portafolio.co/negocios/colombia-tercer-mercado-mundial-para-franquicias-518854>
16. Loaiza L. 2012. Panorama del contrato de franquicia en Colombia: entre las estipulaciones contractuales, el código de ética y la norma técnica. Trabajo de grado abogado. Santiago de Cali: Universidad ICESI. Facultad de derecho y ciencias sociales, 42 p. Disponible en:

- https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/77604/1/loaiza_contrato_franquicia_2013.pdf
17. Ministro de Salud y Protección Social (MSPS). 2013. Resolución 00002674, por la cual se establece los requisitos y condiciones bajo las cuales el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos -INVIMA, como autoridad sanitaria del orden nacional, deberá expedir los registros, permisos o notificaciones sanitarias. 37 p. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
 18. Ministro de Salud y Protección Social (MSPS). 2015. Resolución 00000719, por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública, 20 p. Disponible en: https://paginaweb.invima.gov.co/images/pdf/documentos_tramite/Alimentos/Resolucion_719_PDF.pdf
 19. Mosquera, F. 2010. La franquicia: Una estrategia de crecimiento empresarial. Revista MBA EAFIT, 70-85. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/revistas/revistamba/Documents/franquicia-estrategia-crecimiento-empresarial.pdf>
 20. Otero M, Giraldo W, Barbosa J. 2017. Estudio cualitativo para el desarrollo de la marca del pan de arroz. *Revista Luciérnaga / Comunicación*, 18: 77-80.
 21. Pierre S, Rebolledo, C. 2003 La franquicia en Colombia, teorías, realidades y perspectivas. Bogotá D.C. Grupo editorial Norma. p 19-31.
 22. Ramírez A. 2017. Identificación de un modelo de franquicia de la marca de Hamburguesas del Oeste y el plan de mercadeo para su comercialización. Proyecto para optar título de Magister, Universidad EAFIT Escuela de Administración Maestría en Administración de Negocios – MBA Medellín. 82 p. Disponible: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11929/GuillermoAndres_RamirezMartinez_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y
 23. Restrepo L, Barrera C. 2018. Desarrollo de las franquicias en Colombia. Trabajo de grado para aplicar por el título de Tecnólogo en Gestiona de Comercio Exterior y Logística. Facultad de Administración Tecnológica de Antioquia Medellín. 90 p. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/tda/355/1/DESARROLLO%20DE%20LAS%20FRANQUICIAS%20EN%20COLOMBIA.pdf>
 24. Rodríguez M, Mora N. 2013. K-LISTO: Franquicia como una estrategia de expansión, Trabajo de grado, Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Facultad de Administración, 101 p. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4580/RodriguezBenitez-MariaCamila-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 25. Silva J. 2003. “Franquicia. Una Alternativa para Emprendedores”. Revista EAN. Número 47: 116-121. Disponible en: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/239>

Buenas prácticas de producción de cacao en comunidades víctimas del conflicto, Granada (Colombia)

Good practices of cocoa production in communities victims of the conflict, Granada (Colombia)

Boas práticas de produção de cacau em comunidades vítimas do conflito, Granada (Colômbia)

Rodriguez Guevara Jessica Naiyuri¹ y María Cristina Ospina Ladino²

¹Ingeniera Agroindustrial Universidad de los Llanos y

²Ingeniera Agroindustrial, Docente Universidad de los Llanos

jessica.rodriguez.guevara@unillanos.edu.co

Recibido 31 de octubre 2019, Aceptado 12 de marzo 2020

RESUMEN

El objetivo de este proyecto estuvo encaminado a poder contribuir como institución en el progreso de las comunidades víctimas del conflicto armado, que en décadas pasadas fueron obligadas a participar en la producción de cultivos ilícitos debido a las limitadas alternativas de ingreso en la zona; por ello el desarrollo de este proyecto tuvo lugar en la zona del medio Ariari, en el municipio de Granada del departamento del Meta donde la población beneficiaria tiene cultivo de cacao que no superan las cinco hectáreas por productor. Por lo anterior, se capacitaron a 50 personas de poblaciones víctimas del conflicto, campesinos y mujeres; en procesos como beneficio y transformación del cacao, buscando el fortalecimiento de esta cadena productiva debido a que es un producto apetecido para industrias de chocolates a nivel y el mercado exterior. Se diseñó una capacitación llamada “procesos productivos del cacao” que incluyó etapas desde la recolección de las mazorcas hasta la obtención de diferentes productos agroindustriales que generan ingresos a las familias campesinas y dinamizan la economía del sector. Esta capacitación fue subdividida en 6 subconferencias: Beneficio del cacao, transformación del cacao en chocolate de mesa, instalaciones de una planta de transformación de cacao, equipos necesarios en la transformación de cacao,

obtención del licor de cacao y alternativas de agroindustrialización, donde se obtuvo una participación activa por parte de los cincuenta productores asistentes, gran aceptación y disposición en las temáticas impartidas, lo cual muestra el interés que genera este tipo de actividades para las poblaciones que contribuyen al desarrollo de la región.

Palabras clave: Ariari Colombia, cacao, conflicto armado, agroindustria.

ABSTRACT

The objective of this project was aimed at being able to contribute as an institution to the progress of the communities victims of the armed conflict, which in past decades were forced to participate in the production of illicit crops due to the limited income alternatives in the area; for this reason, the development of this project took place in the middle Ariari area, in the Granada municipality of the Meta department, where the beneficiary population has cocoa cultivation that does not exceed five hectares per producer. Therefore, 50 people from populations victims of the conflict, peasants and women were trained; in processes such as processing and transformation of cocoa, seeking to strengthen this production chain because it is a desired product for chocolate industries at the level and the foreign market. A training called "cocoa production processes" was designed, which included stages from harvesting the pods to obtaining different agro-industrial products that generate income for farm families and boost the economy of the sector. This training was subdivided into 6 sub-conferences: Cocoa processing, transformation of cocoa into table chocolate, facilities of a cocoa transformation plant, equipment necessary for cocoa transformation, obtaining of cocoa liquor and agroindustrialization alternatives, where it was obtained active participation by the fifty attending producers, great acceptance and willingness in the topics taught, which shows the interest that this type of activity generates for the populations that contribute to the development of the region.

Keywords: Ariari Colombia, cocoa, armed conflict, agro-industry.

RESUMO

O objetivo deste projeto era poder contribuir como instituição para o progresso das comunidades vítimas do conflito armado, que nas últimas décadas foram forçadas a participar da produção de cultivos ilícitos devido às alternativas de renda limitada na área; por esse motivo, o desenvolvimento deste projeto ocorreu na área central de Ariari, no município de Granada, no departamento de Meta, onde a população beneficiária possui cultivo de cacau que não excede cinco hectares por produtor. Portanto, 50 pessoas de populações vítimas do conflito, camponeses e mulheres foram treinadas; em processos como processamento e transformação de cacau, buscando fortalecer essa cadeia produtiva por ser um produto desejado para as indústrias de chocolate no nível e no mercado externo. Foi desenvolvido um treinamento chamado “processos de produção de cacau”, que incluía etapas desde a colheita das vagens até a obtenção de diferentes produtos agroindustriais que geram renda para as famílias de agricultores e impulsionam a economia do setor. Este treinamento foi subdividido em 6 subconferências: processamento de cacau, transformação de cacau em chocolate de mesa, instalações de uma planta de transformação de cacau, equipamento necessário na transformação de cacau, obtenção de alternativas de licor de cacau e agroindustrialização, onde foram obtidos participação ativa dos cinquenta produtores presentes, grande aceitação e disposição nas disciplinas ministradas, o que mostra o interesse que esse tipo de atividade gera para as populações que contribuem para o desenvolvimento da região.

Palavras-chave: Ariari Colômbia, cacau, conflito armado, agroindústria.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao en Colombia no ha sido fácil de consolidar, debido a la que las zonas productoras han estado involucradas en el conflicto armado: Huila, Santander, Arauca, Urabá Antioqueño y Meta (Gómez y García, 2016). Colombia se ha caracterizado por sufrir violencia, proveniente de varios grupos ilegales, finalmente en el 2016 se dio un gran paso al firmar un acuerdo de paz con el grupo

guerrillero de las FARC (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia), con quien se sostuvo un conflicto que duró más de 50 años, perjudicando durante este tiempo al país y su población en todos los municipios aislados, entre los que se encuentra Granada.

COMUNIDADES VÍCTIMAS

En Colombia de acuerdo a la Ley 1448 de 2011, se establece que las víctimas son: “Aquellas personas que individual o colectivamente hayan sufrido un daño por hechos ocurridos a partir del 1º de enero de 1985, como consecuencia de infracciones al Derecho Internacional Humanitario o de violaciones graves y manifiestas a las normas internacionales de Derechos Humanos, ocurridas con ocasión del conflicto armado interno. El cónyuge, compañero o compañera permanente, parejas del mismo sexo y familiar en primer grado de consanguinidad, primero civil de la víctima directa, cuando a esta se le hubiere dado muerte o estuviere desaparecida. A falta de estas, lo serán los que se encuentren en el segundo grado de consanguinidad ascendente. De la misma forma, a las personas que hayan sufrido un daño al intervenir para asistir a la víctima en peligro o para prevenir la victimización. La condición de víctima se adquiere con independencia de que se individualice, aprehenda, procese o condene al autor de la conducta punible y de la relación que pueda existir entre el autor y la víctima” (CRC, 2011).

Gracias a la firma del acuerdo de paz en Colombia la producción de cacao aumentó, tanto así que el mercado extranjero demostró estar interesado ya no solo por la producción de café si no por las características deseables presentes en el grano de cacao. Según la Federación nacional de cacaoteros (FEDECACAO, 2018), hace diez años el país exportaba 650 toneladas, en el año 2017 el presidente de esta federación afirma que las ventas externas alcanzaron 11.926 toneladas en grano y en el 2016 el país logró su mayor producción de cacao con 60.000 toneladas.

Lo anterior demuestra el potencial cacaotero del país, no solo en la producción del grano de cacao seco sino en la participación de productos de exportación con valor agregado, las asociaciones en articulación con FEDECACAO, Alcaldías,

Universidades Públicas y Gobierno Nacional con la participación de los Ministerios de Educación y Agricultura, han venido beneficiando a los productores de cacao con capacitaciones que abarcan los procesos de cultivo, enfermedades, beneficio y transformación, que permitirán estandarizar los procesos y competir con productos ya establecidos en el mercado nacional e internacional.

Según Ramírez y Jaramillo, (2014) Colombia se encuentra ubicada en la zona intertropical, por lo tanto durante todo el año no presenta variaciones de temperatura significativas, lo que favorece la producción de algunos cultivos, sumado a la gran porción de selva amazónica que posee, le ha permitido posicionarse como un territorio mega diverso en flora y fauna a nivel mundial caracterizándose por ser un país que basa su economía en la agricultura. Es importante resaltar que el cacao producido en Colombia según la organización mundial de cacao (Loureiro *et al.*, 2017). Este producto está catalogado de calidad por su sabor fino y exquisito aroma debido a la calidad de los genotipos que tienen un mercado especial para la comercialización de productos diferenciados por su calidad y variedad. Razón por la cual impulsar su producción resulta ser una oportunidad para el desarrollo del departamento del Meta, buscando que a través del conocimiento transmitido a productores y líderes de asociaciones se pueda aplicar e incentivar al productor a realizar buenas prácticas de cosecha y pos cosecha y que se anime a realizar la transformación del producto siempre cumpliendo con las normas de sanidad y calidad, ya que si se dinamiza la cadena cacao-chocolate esto ayudaría a aumentar los ingresos de las familias productoras.

SITUACIÓN DEL CULTIVO DEL CACAO

Según Argout *et al.*, 2011, el cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta de hoja perenne, que se cultiva en los países están en la zona intertropical (Figura 1), siendo el tercer producto más importante de exportación agrícola en el mundo (sólo superado por el café y el azúcar) y que además provee beneficios económicos a algunas zonas pobres del mundo, en especial a aquellos países como Costa de Marfil que dominan la producción mundial. Además de servir para obtener el chocolate, Según Osorio *et al.*, (2017), los granos de cacao también se utilizan para

la fabricación de dulces, jaleas, helados, licores, productos cosméticos y medicinales. Son tres tipos de Cacao, los más comercializados a nivel mundial: forastero, criollo y trinitario, los tres se cultivan en Colombia.



Figura 1. Cultivo de cacao alternativa productiva y social

Fuente: Acosta y Martinez, (2017).

Según las cifras de DANE, (2017) en Colombia el área cultivada de cacao para el fue para este año 160.276 ha con una producción aproximada de 47.732 toneladas de grano, posicionándose así como el décimo país y área productora cosechada en el mundo, así como el tercero en América Latina por detrás de Brasil y Ecuador. Desde 1960, para Osorio *et al.*, (2017), la producción colombiana de cacao no ha mejorado considerablemente, debido en parte a la incidencia de enfermedades y la plantación monoclonal, para lo cual se han creado bancos de germoplasma *Ex situ* con el objetivo de apoyar la supervivencia de la especie en su hábitat natural y para conservar diversidad de especies para ser utilizadas en programas de mejoramiento.

El cultivo de cacao se cultiva en climas cálidos y húmedos, a temperaturas entre 25 a 35°C, precipitaciones de 1000 a 3000 mm/año, los suelos franco arcillosos con buen drenaje y pH de 4 a 7,4. Sus frutos son en forma de bayas alargadas llegando a pesar un kg, su pulpa contiene de 20 a 40 semillas de color variable entre crema, morado, rojizo o café. El control de plagas y enfermedades se recomienda hacerlo desde el vivero hasta su cosecha, para lo cual se emplean métodos físicos, biológicos, químicos y culturales para mitigar la problemática fitosanitaria causada por estos agentes, los insectos que se encuentran con mayor frecuencia son:

Coleópteros, Homópteros y Lepidópteros, otras enfermedades de importancia son: moniliasis, Escoba de Bruja y Fitóftora (Rojas y Sacristán, 2013).

La forma más recomendada de realizar su siembra es por medio de propagación por injerto, teniendo en cuenta que se puede dar en campo y vivero, a la hora de llevarla a campo es recomendable que sea en periodos de lluvias ya que así se logra una mayor producción, un inicio de cosecha en menor tiempo y una mejor calidad de producto, con una distancia de siembra recomendada de 3x3 metros en cuadro o triangulo para densidades que oscilen entre 1100 y 1280 plantas por hectáreas, para densidades más bajas como de 1000 árboles por hectáreas se puede utilizar una distancia de 3,3 x 3,3 metros (Arévalo *et al.*, 2017).

Por el aroma y sabor que tienen los granos de cacao, ha conllevado que con este producto se elaboren derivados, que tienen una buena aceptación en el mercado alimentario (bebidas instantáneas y con grado de alcohol, queso con cubierta de chocolate y dulces) farmacéutico y cosmético (extracción de polifenoles, jabones); siendo estos productos de fácil preparación y con bajo costo de inversión. Según el análisis, se ha visto reflejando el interés de los países no productores en el desarrollo e innovación de productos. El crecimiento ha sido progresivo, lo que sugiere enfoques estratégicos para patentar, lo cual está actualmente dominado por empresas europeas y asiáticas. Comprendiendo estas tendencias mundiales, permitirá desarrollar capacidades con la generación de nuevos productos orientados a emprender agroindustrias dando oportunidad socioeconómica en estas zonas, afectadas por violencia (Gómez *et al.*, 2019)

En Colombia se han realizado adelantos en investigaciones, trabajos y proyectos integrando a la población víctima de los flagelos de la guerra con el fin de mejorar economía, unión social y empoderamiento personal buscando cadenas sustentables, representando en este caso la cadena productiva del cacao. Se han planteado estrategias para aprovechar el cacao en tiempo de posconflicto apoyándose en el Acuerdo de integración Colombia-Unión Europea, donde primero se realizó un análisis para conocer la producción y comercialización que tiene a

escala mundial, identificar y diagnosticar los problemas que tiene su producción y comercialización en Colombia (Cediel, 2017).

Es importante tener en cuenta que las exportaciones de cacao han aumentado reflejándose la elevada demanda extranjera y esto es positivo para los productores nacionales, puesto que se mejora la calidad de vida de productores, ofreciendo Oportunidades y ventajas comparativa que posee el cacao colombiano en la fase del posconflicto (Cristancho *et al.*, 2017).

El presente proyecto, se desarrolló en el marco del convenio interadministrativo 833 entre el Ministerio de Educación (MEN) y la Universidad de los Llanos, cuyo objeto es “Aunar esfuerzos entre el Ministerio de Educación (MEN) y la Universidad de los Llanos para promover el Desarrollo Rural a través del Plan Estratégico de Educación Rural en el Departamento del Meta denominado “Ética Ambiental y Bienestar Animal: Estrategia de Desarrollo Rural en Paz”, firmado el 26 de enero de 2018 (UNILLANOS, 2018).

METODOLOGÍA

Ubicación

Este trabajo se realizó en el municipio de Granada, ubicado al oriente de Colombia en el departamento del Meta; el área municipal es de 350 km² y el número de habitantes de 98.500. El municipio se encuentra entre los 3° 26" de latitud norte y 73° 43" de longitud oeste, y desde 372 a 410 metros sobre el nivel del mar. Los veranos son cortos, muy calientes, húmedos y nublados; los inviernos son cortos, cálidos y parcialmente nublados y está mojado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 a 31°C y rara vez baja a menos de 15°C o sube a más de 34°C.

Recolección de información y capacitación

El presente trabajo tuvo por objetivo capacitar a 50 personas del municipio de Granada (Meta), pequeños productores de cacao de las asociaciones ASOPCARI-AGAMETA y no asociados, víctimas del conflicto armado, mujeres y

afrodescendientes, fortaleciendo las buenas prácticas sanitarias en estos sistemas productivos que fueron evaluados de forma cualitativa por medio de encuestas. Se llevó a cabo el reconocimiento de esta población a capacitar, a quienes se les aplicó una encuesta, la cual se dividió en dos secciones, la primera compuesta por ocho preguntas que hacen referencia a puntos generales como el tipo de población, sexo, si cuenta con plantación de cacao, ya había tomado o realizado curso de cacao al igual que algún proceso que interviene en la cadena productiva del cacao. La segunda consta de once preguntas de conocimientos puntuales sobre los procesos, reacciones, condiciones y generalidades que se presentan desde la cosecha hasta la transformación del cacao, ésta segunda parte se aplicó al inicio y al final para evaluar los conocimientos adquiridos.

Etapas del proyecto

Para el presente proyecto se contemplaron, tres etapas: en la primera se recolectó información acerca de la actividad agrícola y pecuaria a la que se dedican los beneficiarios, además de determinar la participación en cultivos de cacao ya establecidos. El instrumento base utilizado fue una encuesta donde se resaltaron preguntas generales como: edad, sexo, población, tipo de cultivo producido en la región, conocimiento en los procesos de fermentación, secado y obtención de subproductos de cacao (Figura 2).

En la segunda etapa se aplicó una encuesta con 11 preguntas de conocimiento, en donde se evaluaron los procesos de beneficio y transformación del cacao. Luego de recabar la información general, de conocimiento y la participación agrícola y pecuaria de los 50 beneficiarios, se diseñaron las seis (6) guías para las seis conferencias: Beneficio del cacao, transformación, instalaciones de plantas de transformación, equipos utilizados en la transformación de cacao y alternativas de agroindustrialización, además se preparó material audiovisual para la explicación de cada una de las conferencias. Después del diseño y elaboración de cada una de las guías, se desarrolló cada una de las conferencias en diferentes instalaciones y fincas del municipio de Granada, los productores conocieron cada uno de los equipos y el funcionamiento de los mismos para la obtención de licor de cacao.

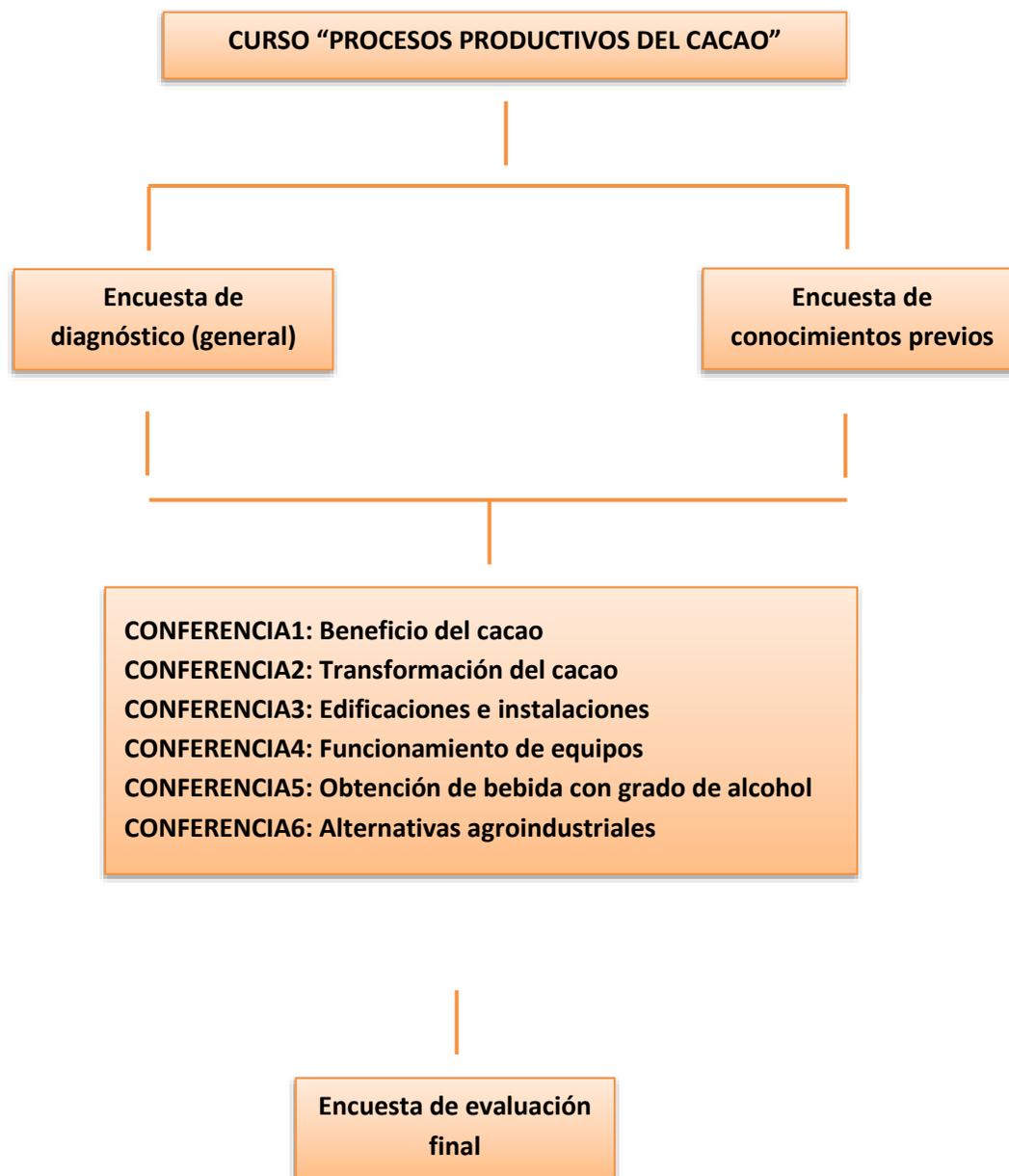


Figura 2. Actividades que se realizaron en este proyecto

En la tercera y última etapa, los productores diligenciaron la encuesta posterior que constaba de once preguntas en la cuales se preguntaba sobre los conocimientos que tenían los productores respecto al manejo del cultivo de Cacao en cuanto a beneficio, prácticas culturales, procesos de fermentación, métodos de secado, transformación y elaboración de derivados del cacao, esto fin de evaluar los conocimientos antes de tomar el curso "procesos productivos del cacao" para lo cual se aplicó un cuestionario de 11 preguntas y luego se aplicó el mismo cuestionario

para comprar el aprendizaje adquirido después de haber participado en esta capacitación.

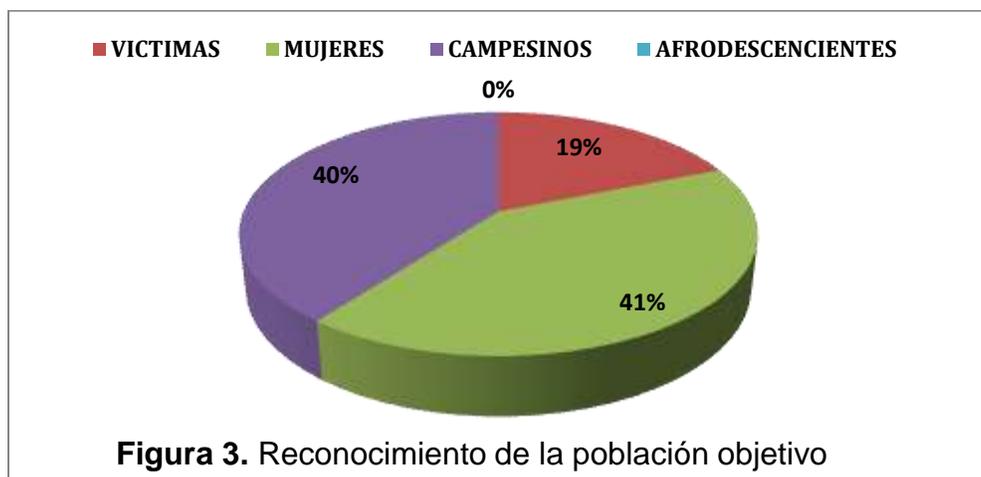
Elaboración de guías

Para el desarrollo de la conferencia procesos productivos del cacao se elaboraron seis guías, las cuales sirvieron de apoyo en cada conferencia presentada, compuesta por la descripción de la conferencia (temática, duración y tipo de guía), una breve introducción a la temática del día, objetivo de la conferencia, metodología a trabajar, información correspondiente a la conferencia y una actividad complementaria para reforzar el tema visto.

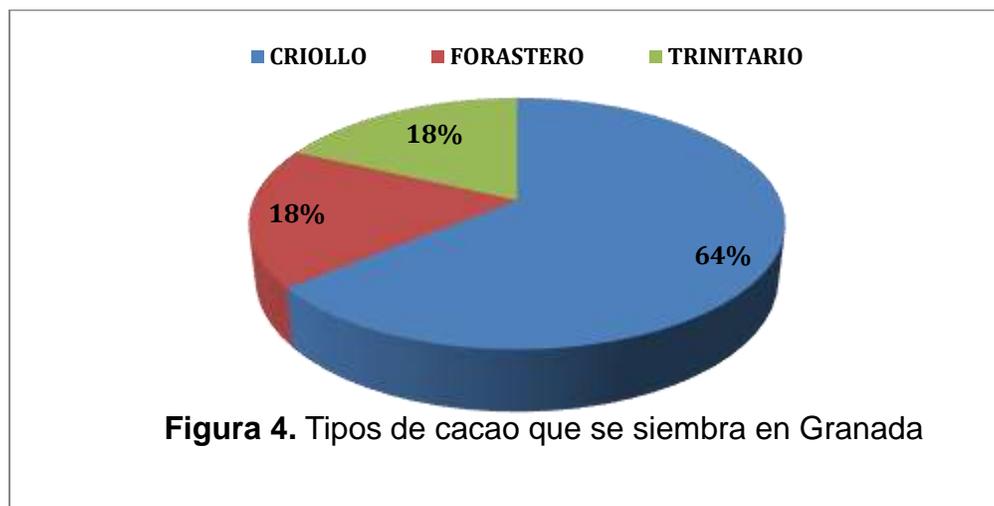
RESULTADOS Y ANALISIS

Caracterización de la población objetivo

La primera pregunta con referencia al tipo de población a la que pertenece se obtuvieron 10 víctimas, 22 mujeres, 21 campesinos y cero (0) afro descendientes, para un total de 50 participantes. La población a la que va dirigido el proyecto se encuentra en su mayoría mujeres con una presencia del 41% seguido de campesinos con un 40% y en un poco menos personas víctimas con un 19%, (Figura 3). El 84% de estos productores tienen cultivo de cacao, de los cuales el 62% han asistido a conferencias sobre el cultivo de cacao, frente a un 38% que nunca han tomado una capacitación al respecto.



Se evidencia que en las fincas de Granada predomina el cultivo de cacao criollo con un 64% y en menor proporción el forastero y trinitario con un 18% cada uno, información suministrada por la plantación que dan en sus fincas y alrededores. (Figura 4).

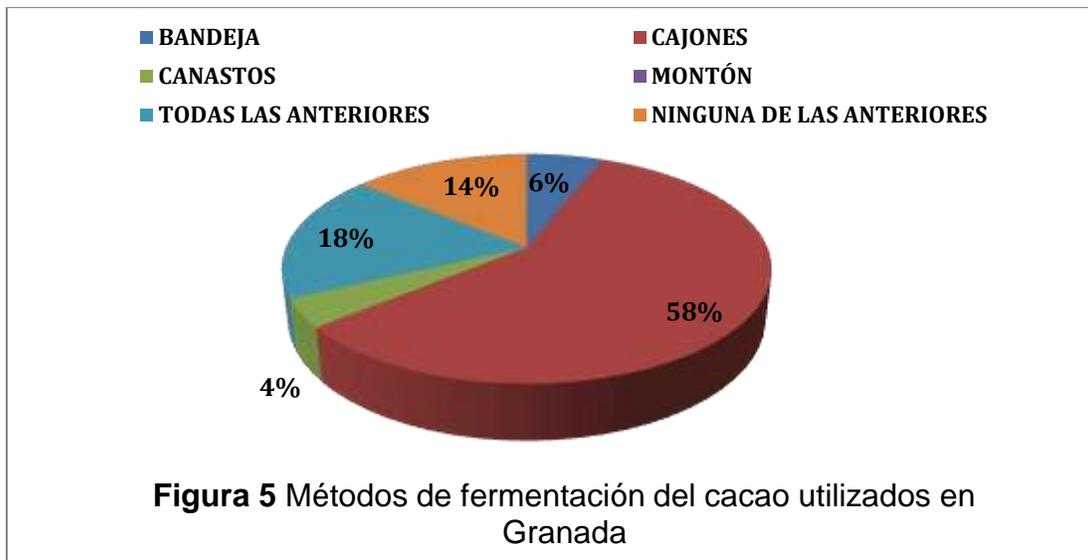


El 62% de los asistentes al curso procesos productivos de cacao han realizado fermentación del grano, mientras que el 38% no tienen conocimiento ni han realizado esta actividad. Con relación al tipo de fermentación que conocen, La fermentación de cacao de la cuál tienen mayor conocimiento los asistentes es la que se realiza en cajones con un 58%, sin embargo, hay un 18% de personas que conocen los diferentes tipos de fermentación; mientras que el 14% no conoce ningún método (Figura 5). El 74% de las personas que asistieron al curso ofrecido en este proyecto no han realizado transformación del cacao ni de forma artesanal y mucho menos tecnificada, sin embargo, el 26% de los asistentes está realizando productos derivados de cacao.

Curso procesos productivos de cacao

Este curso fue impartido en distintos lugares del municipio de Granada, donde asistieron y se certificaron 50 productores de cacao (22 son mujeres y 28 hombres) algunos pocos que ya le dan transformación, otros lo comercializan el cacao seco y una minoría que hasta ahora está iniciando en esta cadena, de los cuales 19 son

víctimas del conflicto armado y 31 son campesinos. Se realizó el refuerzo de la cadena productiva desde su cultivo hasta la posible transformación.



Beneficio del cacao: Se realizó en la finca “El refugio” ubicada en la vereda el delirio, para hablar sobre el cultivo, las características y condiciones óptimas de manejo, polinizadores, enfermedades, clones existentes en la región, la importancia de una buena poda, se realizó una actividad de campo donde todos los participantes mostraron gran interés en realizarla, conocer el cultivo de la finca visitada, reconocer su sistema, las enfermedades y recomendaciones para evitar el ataque de plagas. Se explicó sobre manejo de cosecha (características del grano), fermentación y secado, respecto a este tema se trató sobre el correcto proceso de estructura-temperatura-capacidad; humedad- temperatura- acidez- diseño de fermentador y secador, también se dieron a conocer algunos instrumentos para medir temperatura, humedad y acidez. Se fue a campo para ver el funcionamiento de los equipos, al igual, poner en práctica los conocimientos transmitidos, midiendo las condiciones de un cajón de fermentación, analizando si estaban bien o no y cuáles eran las medidas correctivas que se podrían aplicar (Figura 6).

Transformación del cacao

Se realizó en la finca trocha siete de punta brava, se dieron las pautas para realizar el proceso de forma artesanal, ingredientes y sus respectivas cantidades para la

elaboración de chocolate de mesa con un 30% de cacao y otro con 100% de cacao. Se inició con un tostado de aproximadamente 30 minutos, se descascarilló se realizó manualmente separando en un recipiente el nib y en otro cascarilla (la cual es utilizada para infusiones), los nibs fueron llevados a un molino, posteriormente se agregó azúcar refinado y pulverizado, canela y clavos, lecitina de soya, se mezcló homogéneamente; esta mezcla paso por el molino, para formar una pasta para que la manteca de cacao se compacte con todos los ingredientes. Luego se procedió a verter la pasta en los moldes y hacerle una vibración sobre mesa o superficie plana para poder eliminar cualquier burbuja de aire presente y luego se llevaron a refrigeración. Finalmente se obtuvo el chocolate de mesa, (Figuras 7 y 8).



Figura 6. Práctica sobre variedades, plagas e insectos y proceso de fermentación del cacao.



Figura 7. Práctica de transformación del cacao.



Figura 8. Elaboración de derivados del cacao.

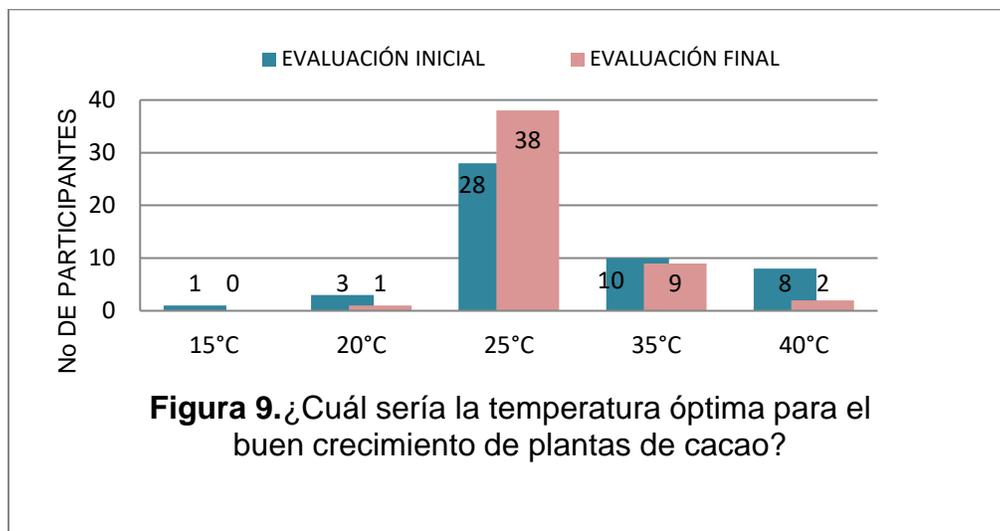
Alternativas de agroindustrialización

Se explicó el funcionamiento de los equipos que se llevaron, se dio la fórmula de los cupcakes a preparar; Se armaron grupos de trabajo los cuales se iban a ir rotando para tener mejor control y participación de los asistentes, se incorpora poco a poco los ingredientes sólidos previamente tamizados, luego los ingredientes líquidos cuando se obtiene una mezcla homogénea se retira y se agrega en la máquina para hacer cupcakes y se deja de 15 a 20 minutos, se dejaron enfriar para posteriormente proceder a decorarlos, Se atempera para la elaboración de los bombones los cuales iban a estar mezclados con maní o con arroz inflado, se controla la temperatura del atemperado (42-44°C) se realizó la mezcla, se añadió en los moldes y se llevó a refrigerar para posteriormente degustarlos.

Comparación de encuestas aplicadas antes y después de la conferencia “procesos productivos del cacao”

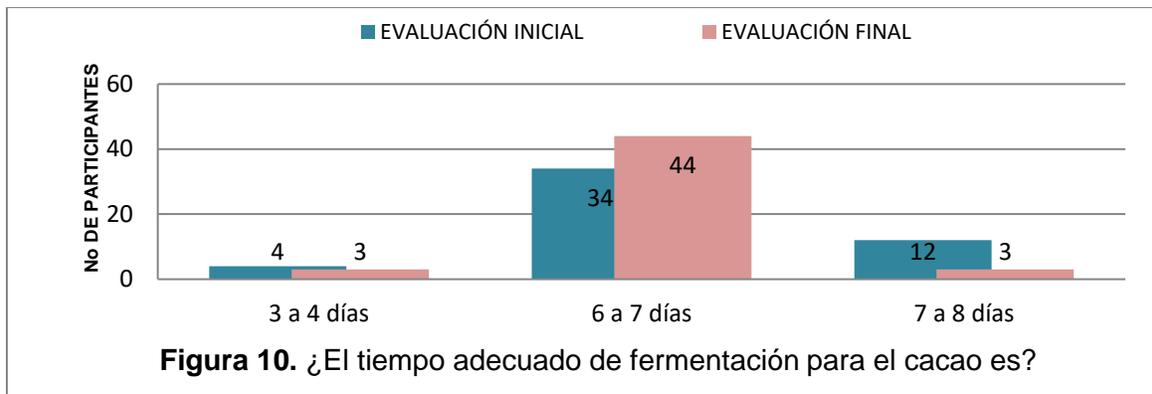
El cuestionario que se realizó al inicio y final de las conferencias con el fin de evaluar los conocimientos que los participantes tenían acerca de la cadena productiva del cacao los cuales adquirieron o reforzaron en el tiempo transcurrido, se obtuvo que en relación a la temperatura óptima para el buen crecimiento de la planta de cacao al inicio contestaron: un participante marcó 15°C, tres contestaron 20°C, veintiocho

respondieron que la respuesta correcta era 25°C, diez que 35°C y finalmente ocho personas dijeron que 40°C era la temperatura óptima correcta. En la evaluación final 38 participantes respondieron 25°C, 9 marcaron 35°C, 2 que 40°C y 1 marcó 20°C. En la evaluación de inicio el 56% de los participantes respondieron de forma correcta la pregunta indicando que tenían previo conocimiento, pero un 44% respondieron de forma incorrecta. En la evaluación final aumentó la cantidad de participantes que acertaron a la respuesta correcta con un 76% y una minoría respondió de forma incorrecta marcando 35, 40 y 20°C con una participación de 18, 4 y 2% respectivamente (Figura 9).

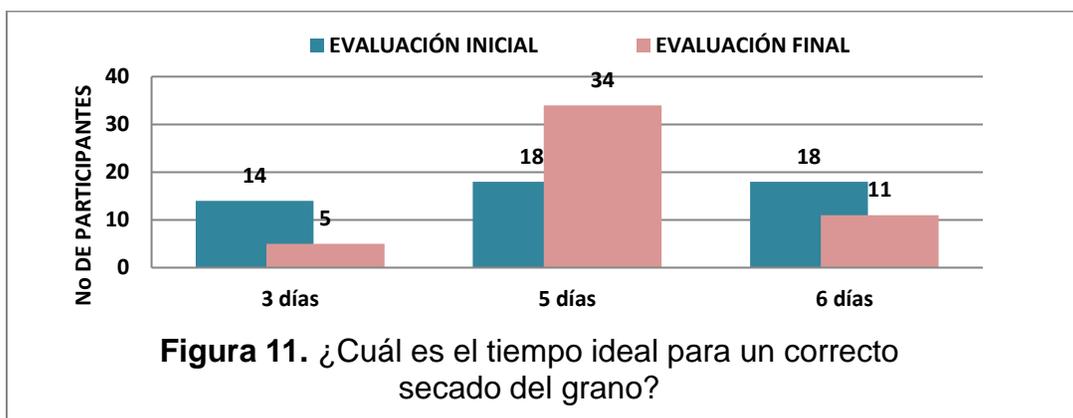


Referente a las evaluaciones sobre el conocimiento del cultivo de cacao y su transformación se exponen los resultados de las respuestas de dos preguntas de las 11 que se aplicaron antes y después de la capacitación; se puede observar que este curso aportó conocimiento a los productores de cacao (Figuras 9, 10 y 11). En relación al tiempo adecuado de fermentación del grano de cacao, en la evaluación de inicio cuatro personas respondieron de 3 a 4 días, treinta y cuatro de 6 a 7 días y doce personas respondieron que el tiempo adecuado era de 7 a 8 días, ya en la evaluación que se aplicó al final cuarenta y cuatro personas respondieron de 6 a 7 días, tres de 3 a 4 días y tres de 7 a 8 días. Un porcentaje significativo de los participantes con un 68% respondieron de forma adecuada donde el tiempo de fermentación indicado es de 6 a 7 días frente a un 32% que respondieron de forma

incorrecta en la evaluación de inicio, ya en la evaluación final aumentó la respuesta correcta de un 68% a un 88% (Figura 10).



Sobre el conocimiento acerca del tiempo indicado para un correcto secado del grado de cacao a lo que en un inicio 14 personas respondieron que 3 días, 18 personas respondieron 5 días y 18 personas que 6 días. En la evaluación final 34 personas respondieron que 5 días era el tiempo ideal, 11 respondieron 6 días y 5 personas que 3 días. El tiempo ideal para el secado del grano de cacao es 5 días, en la encuesta de inicio solo un 36% del 100% de los participantes acertaron con la respuesta correcta, pero en la encuesta final un 68% respondieron correctamente, aunque un 22% justificaron su respuesta en que en ocasiones se presentan fuertes lluvias lo que lleva al que el tiempo de secado se prolongue un poco (Figura 11).



Con base a la encuesta inicial y final donde se buscó evaluar el conocimiento de los participantes se les efectuó una calificación de 1 a 5 dependiendo de las preguntas acertadas de las 11 del cuestionario. La calificación promedio del grupo al inicio fue

de 1.91 indicando que la gran mayoría no tenía conocimiento o información suficiente sobre la cadena productiva del cacao lo cual los llevó a contestar de forma incorrecta algunas preguntas, teniendo en cuenta la calificación se profundizaron más las conferencias de tal manera que los participantes en su mayoría productores comprendieran la forma correcta de desarrollar un buen manejo del cultivo, beneficio y transformación del cacao, lo cual se logró y se vio reflejado en la evaluación final obteniendo una calificación promedio de 4.25 (Figura 12).

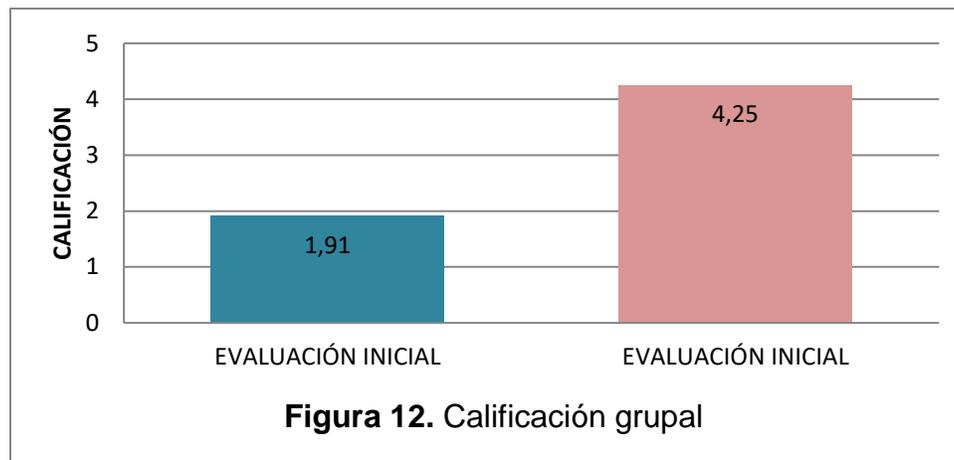


Figura 12. Calificación grupal

CONCLUSIONES

Se evidenció el aprendizaje adquirido por los participantes durante la conferencia reflejándose en la calificación general promedio que en un inicio fue de 1,91 y al final su calificación promedio ascendió a 4,25.

Las capacitaciones son una herramienta importante en el proceso de emprendimiento de pequeños y medianos productores de la región que buscan obtener mejores ingresos a partir no solo de la venta de materia prima si no dándole un valor agregado.

Los productores ahora con un panorama más despejado en este sector, dispuesto a buscar mejores alternativas para que su cultivo con mejores prácticas genere un cacao de mejor calidad, también reconocen la importancia de asociarse como pequeños y medianos productores de cacao ya que esto conlleva beneficios comunes, dimensionan poder generar negocio con lo aprendido al igual tienen en

mira poder participar en más eventos similares que los forje como unos mejores agricultores cuidando y brindando armonía en su entorno.

Se dejó una semilla sembrada sobre el querer saber más sobre las diferentes cadenas productivas de la región, permitiendo así el ingreso de nuevos proyectos o entidades que alimenten el conocimiento y hagan acompañamiento a los productores; Partiendo de la conferencia ofrecida se podría abrir espacio en otros campos como lo es en temas relacionados a las buenas prácticas agrícolas, al marketing para la comercialización de los productos, capacitaciones en finanzas y emprendimiento para poder crear empresa.

La elaboración de este tipo de proyectos desde la academia hacia la comunidad son de gran aporte para el desarrollo de nuestro departamento siendo una forma efectiva de llegar aquellos hogares y lugares olvidados por muchos, pero donde se alberga una gran riqueza y contribuir al desarrollo de las regiones para avanzar hacia un mejor futuro en paz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta A, Martínez C. 2017. Foto del artículo “Industria del cacao colombiano alcanza cifras históricas. En: Revista dinero. Octubre, 2017. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/industria-del-cacao-colombiano-produce-record/251611>
2. Arévalo A, González D, Maroto S, Delgado T, Montoya P. 2017. Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas. IICA. 143 p. Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/> Creado a partir de la obra en www.iica.int
3. Argout, X; Salse, J; Aury, J; Guiltinan, M; Droc, G; Gouzy, J, Lanaud, C. 2011. the genome of theobroma cacao. *Nature Genetics*, 43 (2): 101-109.
4. Cediél, N; Donoso N; Hernandez, J; López, M; Herrera, P y Moreno, C. 2017. Empoderamiento de las mujeres rurales como gestoras de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el posconflicto colombiano. *Equidad y Desarrollo*, 28: 61 p. Disponible en: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ed/article/view/4077/3226>
5. Cely, L. 2017. Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea. *Equidad Desarrollo*, 28: 167-195. Disponible en: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ed/article/view/4211/3232>
6. Congreso de la República de Colombia (CRC). 2011. Ley 1448 DE 2011 (Junio 10). Por la cual se dictan medidas de atención, asistencia y reparación integral a las víctimas del conflicto armado interno y se dictan otras disposiciones. 75 p.

- Disponible en: <https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/default/files/documentosbiblioteca/ley-1448-de-2011.pdf>
7. Cristancho, J; Guerrero, J, Romero J. 2017. Proyecto de ventajas comparativas reveladas del cacao Colombiano en la Alianza del Pacifico y oportunidad en el posconflicto. Bogotá, 60 p. Trabajo de grado (Profesional en negocios internacional). Universitaria Agustiniiana. Facultad de ciencias económicas y administrativas. Disponible en: <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/217/GuerreroGordillo-JuanSebastian-2017.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
 8. Gómez R, Villanueva S, Henríquez M. 2019. Tendencia mundial en la elaboración de productos derivados del cacao. *Revista INGENIERÍA UC*, 26 (2). Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70760276010/html/index.html>
 9. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2017. Cuentas trimestrales Colombia: Producto Interno Bruto (PIB) Cuarto Trimestre de 2017. Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim17_oferta_demanda.pdf
 10. Federación de Cacaoteros (FEDECACAO). 2018. El mundo quiere más cacao colombiano para este año. En: El Portafolio. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-mundo-quiere-mas-cacao-colombiano-para-este-ano-516283>
 11. Gómez, J., García, J. 2016. Violencia y pobreza en Colombia: Análisis de incidencia en Colombia a nivel departamental. En *Econógrafos Escuela de Economía*, N° 95. Colombia, Disponible en: <http://www.fce.unal.edu.co/centro-editorial/documentos/econografos-escuela-economia/1769-92-violencia-y-pobreza-en-colombia-analisis-de-incidencia-en-colombia-a-nivel-departamental.html>
 12. Loureiro, G, Quintino R, Sodr e R, Andrade G, Souza, S. 2017. Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 579-587. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
 13. Osorio, J, Berdugo, J; Coronado R, Zapata, Y; Quintero, C; Gallego, G; Yockteng, Roxana. 2017. Colombia es una fuente de diversidad genética del cacao según lo revelado por el análisis de la estructura de la población del banco de germoplasma de *Theobroma cacao* L. En: *Frontiersea*. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01994/full>
 14. Ramírez, H., Jaramillo, J. 2014. Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Revista Ingeniería Solidaria*, 10 (17): 139-151.
 15. Rojas, F., Sacristán, E. 2013. Guía ambiental para el cultivo de cacao. Federación Nacional de Cacaoteros Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ed 2. 2013. 127 p. Disponible: https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf
 16. Universidad de los Llanos (UNILLANOS). 2018 Informe de gestión Dirección General de Proyección Social primer semestre 2018, Villavicencio (Meta). 44 p. Disponible en: <http://proyeccionsocial.unillanos.edu.co/PSWEB%203/Informes/IDG12018.pdf>