

## Applying multicriteria analysis for choosing the best marination for pork

### Aplicación de análisis multicriterio para elegir el mejor marinado para la carne de cerdo

Nieto VMOS,<sup>1\*</sup> M.Sc, Caldara FR,<sup>1</sup> Ph.D, Nääs IA,<sup>1</sup> Ph.D, Moi M,<sup>1</sup> M.Sc, Almeida Paz ICL,<sup>1</sup> Ph.D, Garcia RG,<sup>1</sup> Ph.D, Seno LO,<sup>1</sup> Ph.D, Santos LS,<sup>1</sup> M.Sc.

<sup>1</sup>Federal University of Grande Dourados - UFGD, Agrarian Science College, Rodovia Dourados - Itahum, km 12, Caixa Postal 533 - CEP: 79.804-970, Dourados, MS, Brazil. \*Correspondence: viviane.vmos@gmail.com

Received: February 2014; Accepted: September 2014.

#### ABSTRACT

**Objective.** This research aimed to choose a best marination solution using the Analytic Hierarchy Process (AHP). **Materials and methods.** Pork meat samples were collected in a commercial slaughterhouse, and they were randomly distributed in four treatments with three different salt contents blend. Color, pH, retention of the solution, exudate and cooking loss, shear force and sensory attributes were assessed and evaluated. Multicriteria analysis using AHP was applied to the results in order to choose the best overall marination solution. Criteria used for selection were the physical and sensory characteristics of meat, and based on these criteria were classified solutions marination. **Results.** Results showed that the combination of the salts was the best alternative ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl} + \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), followed by the solutions of ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$ ), and ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} + \text{NaCl}$ ). **Conclusions.** All tested solutions with the salts used alone or in combination led to better physical and sensory attributes than the meat not marinated.

**Key words:** Firmness, sodium chloride, sodium tripolyphosphate, texture (*Source: CAB*).

#### RESUMEN

**Objetivo.** Esta investigación tuvo como objetivo elegir la mejor solución para los productos marinados, utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). **Materiales y métodos.** Las muestras de carne de cerdo fueron recogidas en un beneficiadero comercial, y fueron asignadas aleatoriamente a cuatro tratamientos con tres contenidos diferentes de soluciones salinas. Color, pH, solución de retención, pérdida de exudado, pérdida de peso por cocción, fuerza cortante y atributos sensoriales fueron analizados y evaluados. Fue utilizado el análisis multicriterio AHP jerárquico con el fin de elegir la mejor solución de marinado. Los criterios adoptados para la selección fueron las características físicas y sensoriales de la carne y con base a estos criterios se clasificaron las soluciones del marinado. **Resultados.** Los resultados mostraron que la mejor combinación de sales fue la alternativa ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl} + \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), seguida por ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$ ) y ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} + \text{NaCl}$ ). **Conclusiones.** Todas las soluciones ensayadas con sales usados sólo o en combinación dieron lugar a los mejores atributos físicos y sensoriales de que la carne sin marinar.

**Palabras clave:** Cloruro de sodio, firmeza, textura, tripolifosfato de sodio (*Fuente: CAB*).

## INTRODUCTION

Meat appearance is an essential aspect of consumers' acceptance and many factors affect this characteristic. Among them, it is the water-holding capacity, which is the ability that the muscle tissue has to retain water (1), when processes such as cutting, cooking and pressing are applied. Marination techniques contribute to improve the quality of the meat and add value to them. Marination involves the use of salts with or without the addition of condiments for promoting the increase of meat water retention, and leading the meat to better physical and sensory characteristics (2,3).

Alkaline salts such as polyphosphate and sodium bicarbonate are often used in marination solutions. They have the ability of increasing the meat pH and water holding capacity to improve color stability, and to provide meat more flavor and juiciness (4,5). Sodium chloride acts in the extraction and solubilization of muscle proteins, contributing to the increased the water holding capacity, reduction of the cooking loss and improves the quality and texture of the product (6,7). Current literature shows the synergistic effect of the sodium polyphosphate, sodium bicarbonate and sodium chloride (4,8). Besides the benefits obtained on the physical properties of the meat, it can also be an effective strategy to reduce or eliminate peculiar aromas and flavors of pork. Since the meat quality is determined by a combination of factors the choice of marination solutions is clearly a multicriterial task which involves different aspects related to benefits for the processing industry and consumers, such as functional and sensory characteristics of the meat.

Multicriteria methods for decision making support aim to determine the relationship of preferences among alternatives which are being evaluated for a certain purpose (9,10). Amongst the possible mathematical solutions, the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) allows the option to manage the selected criteria within a level structure, considering of viable alternatives. It is also possible to classify them according to known parameters. The AHP has been applied in various scenarios where there are alternatives and the range of possible solutions can be arranged in a matrix (11-13). This approach allows combining quantitative and qualitative factors for decision making and allows the input of information from other research database (14).

The objective of this study was to choose the best marination blend for pork using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

## INTRODUCCIÓN

La apariencia de la carne es un aspecto esencial para los consumidores a la hora de elegir y existen muchos factores que afectan esta característica. Entre ellos se incluye la capacidad de retención de agua, que es la capacidad que tiene el tejido muscular para retener agua (1) cuando se aplican procesos como corte, cocción y prensado. Las técnicas de marinado contribuyen a mejorar la calidad de la carne y agregar valor a la misma. El marinado involucra el uso de sales con o sin la adición de condimentos para promover el aumento de la retención de agua en la carne y así alcanzar las mejores características físicas y sensoriales de la misma (2,3).

A menudo se utilizan sales alcalinas como polifosfato y bicarbonato de sodio en las soluciones de marinado. Estas tienen la capacidad de aumentar el pH y la capacidad de retención de agua de la carne para mejorar la estabilidad del color y darle más sabor y jugosidad a la carne (4,5). El cloruro de sodio actúa en la extracción y solubilización de las proteínas musculares, contribuyendo al aumento de la capacidad de retención de agua y a la reducción de la pérdida de peso por cocción y mejora la calidad y la textura del producto (6,7). La literatura actual muestra el efecto sinérgico de polifosfato de sodio, el bicarbonato de sodio y el cloruro de sodio (4,8). Además de los beneficios obtenidos en las propiedades físicas de la carne, también puede ser una estrategia efectiva para reducir o eliminar aromas y sabores peculiares de la carne de cerdo. Puesto que la calidad de la carne es determinada por una combinación de factores, la elección de las soluciones de marinado es claramente una tarea multicriterial que implica diversos aspectos relacionados con beneficios para la industria y los consumidores, como las características funcionales y sensoriales de la carne.

Los métodos multicriterio para la toma de decisiones tienen como objetivo determinar la relación de preferencias entre las alternativas que están siendo evaluadas para un propósito determinado (9, 10). Entre las posibles soluciones matemáticas, el uso del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) permite manejar los criterios seleccionados dentro de una estructura de nivel, considerando las alternativas viables. También es posible clasificarlos de acuerdo con parámetros conocidos. El AHP ha sido aplicado en varios escenarios donde existen alternativas y la gama de posibles soluciones puede organizarse en una matriz (11-13). Este enfoque permite combinar factores cualitativos y cuantitativos para la toma de decisiones y permite incluir información de otra base de datos de investigación (14).

El objetivo de este estudio fue a elegir la mejor solución de marinado para la carne de cerdo mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

## MATERIAL AND METHODS

**Sample collection.** Meat samples (*Longissimus dorsi* muscle) were obtained from 115 kg male swine from the same genetic strain, which were subjected to the same pre-slaughter and slaughter handling, at a large commercial slaughterhouse (2300 heads/day) after 24 h of carcass chilling. Samples were adequately transported to the Federal University of Grande Dourados (UFGD) at Dourados, MS, Brazil where the remainder of the study was carried out.

**Treatments and experimental design.** The samples (n=40) were distributed in a randomized design, in four treatments: C, control without marination; M1, sodium bicarbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) and sodium chloride (NaCl) solution; M2, sodium tripolyphosphate ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) and sodium chloride (NaCl) solution, and M3, sodium bicarbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sodium tripolyphosphate ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) and sodium chloride (NaCl) solution. Ten replicates per treatment were used. The solutions were prepared in order to achieve 9.09% of the salt solution on the final product considering the injection of the approximately 10% of the sample weight (Table 1).

**Table 1.** Salt solution percentage composition and pH used in the marination of Normal and PSE pork meat.

Ingredient	Addition of salt (%)		
	TM1	TM2	TM3
Meat	90.91	90.91	90.91
Water	8.31	8.19	8.19
NaCl	0.60	0.60	0.42
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0.18	*	0.18
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	*	0.30	0.30
Total	100.00	100.00	100.00
pH of the solution	8.02	10.34	8.97

**Process of marination.** The marination process took place at a controlled environment with ambient temperature at 13°C. Samples were weighed and then the solution was injected uniformly throughout of the sample using manual injector with a needle. After the injection of the salt solutions, the samples were weighed, individually packed in plastic bags, and stored under refrigeration at 4°C for 24 h to equilibrate the solutions. Samples were removed from storage and reweighed to determine purge loss.

**Physical and sensorial analysis.** For determining the weight loss by cooking, the samples were baked in an electric oven at 300°C for 16 minutes, eight minutes on each side, reaching an internal temperature of 80°C, and checked using a calibrated hand-held digital thermometer. After baking were cooled to room temperature for one hour and the

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Toma de muestras.** Se obtuvieron muestras de carne (músculo *Longissimus dorsi*) a partir de un cerdo macho de 115 kg de la misma cepa genética, el cual fue sometido al mismo tratamiento de sacrificio, en un beneficiadero comercial grande (2.300 cabezas/día) después de haber estado en refrigeración por 24 h. Las muestras fueron transportadas adecuadamente a la Universidad Federal de Grande Dourados (UFGD) en Dourados, MS, Brasil, donde se llevó a cabo el resto del estudio.

**Tratamientos y diseño experimental.** Las muestras (n=40) se distribuyeron en un diseño aleatorizado en cuatro tratamientos: C, control sin marinado; M1, solución de bicarbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y de cloruro de sodio (NaCl); M2, solución de tripolifosfato de sodio ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) y de cloruro de sodio (NaCl); y M3, solución de bicarbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), tripolifosfato de sodio ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) y de cloruro de sodio (NaCl). Se utilizaron diez repeticiones por tratamiento. Las soluciones fueron preparadas para lograr una solución salina al 9,09% en el producto final, teniendo en cuenta la inyección de aproximadamente el 10% del peso de la muestra (Tabla 1).

**Proceso de marinado.** El proceso de marinado fue llevado a cabo en un ambiente controlado a temperatura ambiente y a 13°C. Las muestras se pesaron y la solución fue inyectada uniformemente en toda la muestra utilizando un inyector manual con una aguja. Las muestras fueron pesadas después de haber inyectado las soluciones salinas y fueron envasadas individualmente en bolsas de plástico y refrigeradas a 4°C por 24 h para equilibrar las soluciones. Las muestras fueron retiradas de la nevera y pesadas nuevamente para determinar la pérdida de peso.

**Análisis físico y sensorial.** Para la determinación de la pérdida de peso por cocción, las muestras fueron dispuestas en un horno a 300°C durante 16 minutos, ocho minutos por cada lado, alcanzando una temperatura interna de 80°C que fue verificada utilizando una termómetro digital calibrado. Después de ser horneadas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante una hora y se retiró la humedad superficial con un papel absorbente para ser pesadas otra vez. La pérdida de peso porcentual por cocción fue determinada a partir de la diferencia entre el peso inicial y el peso final. Se evaluó la tinción de las muestras antes y después del marinado, al estar expuestas al ambiente durante 30 minutos y a una oxigenación del mismo orden. Para determinar la fuerza de corte, era utilizar las muestras fueron preparadas según lo descrito en la pérdida de peso por cocción,

surface moisture removal with absorbent paper, and reweighed. The percentage weight loss by cooking was determined by the difference between the initial weight and final weight. The samples were evaluated for staining before and after marination, for being so exposed to air for 30 minutes, oxygenation of the same order. To determine the shear force, was used the samples prepared as described under weight loss by cooking, of which six were removed cylinders 13 mm in diameter in the direction parallel to the muscular fibers with the aid of a punch. The shear force of the meat was measured using a texturometer (TA.XT2i, Stable Micro Systems), with a Warner-Bratzler blade. The shear force was determined directly from the force curves as a function of deformation, with the use of the "Texture Expert" V.1.15 (SMS) and calculated as the average of the measurements, is expressed in kgf.

The objective evaluation of color was carried out with the Minolta spectrophotometer surface (model Minolta® CR 410, SCI setting, D65 illuminant and 10° viewing angle) using the scale L\* (brightness), a\* (redness) and b\* (level of yellowness) CIELab system. The measurements were performed at three different points on the sample surface, taking the average as the value determined. The sensory evaluations were performed using a panel of seven trained panelists who evaluated the samples for tenderness, flavor and juiciness based on a scale of nine points (1=extremely dry, tough or intensely off-flavored; and (9=extremely moist, tender or no off-flavor), and using the methodology adopted by Santos (8).

Data were analyzed using Tukey test and Kruskal Wallis test at 95% significance and processed using the software SAS 9.2 (2000) applying the GLM (General Linear Model) procedure.

**Analytic Hierarchy Process.** The analytic hierarchy process (AHP) involved four stages: (A) Structuring the selection of the appropriate marination solution: identifying and structuring the objective of selecting the proper marination solution required careful literature review which provided the basis for quantitative modeling. The challenge consisted in identifying the attributes considered relevant by the pork processing industry and consumers. The objective hierarchies were built attending this classification (15). In order to establish the hierarchy the attributes were selected by three experts in this field of knowledge, and they were based on the quality criteria which were considered valuable by the meat industry and consumers. (B) Identification of alternative options: The marination alternatives

de las cuales se retiraron seis cilindros de 13 mm de diámetro en una dirección paralela a las fibras musculares con ayuda de un perforador. La fuerza de corte de la carne se midió mediante un texturómetro (TA.XT2i, Stable Micro Systems), con una cuchilla Warner-Bratzler. La fuerza de corte fue determinada directamente a partir de las curvas de fuerza en función de la deformación, con el uso de la herramienta "Texture Expert" V.1.15 (SMS) y fue calculada como el promedio de las mediciones y expresada en kgf.

La evaluación objetiva del color se realizó con un espectrocolorímetro Minolta (modelo Minolta® CR 410, ajuste de SCI, iluminación D65 y ángulo de visión de 10°) usando la escala del sistema CIELab L\* (brillo), a\* (nivel de rojo) y b\* (nivel de amarillo). Se hicieron mediciones en tres puntos diferentes sobre la superficie de la muestra, tomando el promedio como el valor determinado. Las evaluaciones sensoriales se realizaron usando un panel de siete panelistas entrenados quienes evaluaron la ternura, sabor y jugosidad de las muestras en base a una escala de nueve puntos (1=extremadamente seca, dura o con mal sabor; y 9=extremadamente húmeda, tierna o sin mal sabor) y utilizando la metodología adoptada por Santos (8).

Los datos fueron analizados utilizando la prueba de Tukey y la prueba de Kruskal Wallis con un nivel de significancia del 95% y fueron procesados mediante el software SAS 9.2 (2000) aplicando el procedimiento GLM (Modelo Lineal General).

**Proceso Analítico Jerárquico.** El proceso analítico jerárquico (AHP) consta de cuatro etapas: (A) La estructuración de la selección de la solución apropiada de marinado: identificar y estructurar el objetivo de seleccionar la solución de marinado más adecuada necesaria a partir de una revisión cuidadosa de la literatura que proporcione la base para el modelo cuantitativo. El desafío consistía en identificar los atributos considerados como relevantes por la industria y los consumidores de cerdo. Se construyeron jerarquías objetivas de acuerdo con esta clasificación (15). Con el fin de establecer la jerarquía, los atributos fueron seleccionados por tres expertos en este campo del conocimiento, y ellos se basaron en los criterios de calidad considerados como valiosos por la industria y los consumidores de carne. (B) Identificación de opciones alternativas: Las alternativas de marinado fueron seleccionadas inicialmente en base a la literatura actual (3-5). (C) Identificación de los criterios de selección aplicados: La selección de los criterios se basó en los resultados de este experimento y en información adicional en base también la literatura actual (4,3, 6). El esquema del sistema AHP fue diseñado utilizando tres niveles

were initially selected based on current literature (3-5). (C) Identifying the applied selection criteria: The selection of the criteria was based on the results of the present experiment and additional information was chosen based also on current literature (4,3,16). The scheme of the AHP system was designed using three distinct levels (Figure 1). (D) Developing the weighting scheme and ranking the options: The purpose of the AHP is to provide a vector of weights expressing the relative importance of those layout alternatives for each chosen criterion.

The scale of importance was defined according to the methodology adopted by Caldara et al (13) using the 1-9 scale for pairwise comparison (Table 2).

A pairwise comparison matrix is formed in the application of the AHP system, in which rows and columns are assigned to the components belonging to the same related component in the decision hierarchy. The weight of component  $i$  compared to component  $j$  with regard to the corresponding component is determined using scale (Table 2) and assigned to the  $(i, j)$  th position of the pairwise comparison matrix (9), chosen to support comparisons within a limited range, but with sufficient sensitivity. The reciprocal of the assigned number is assigned to the  $(j, i)$  th position. Once the pairwise comparison matrix is formed, weights of components are calculated by solving for the eigenvector of the pairwise comparison matrix.

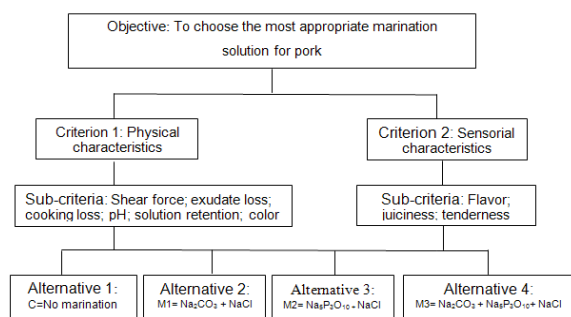
The consistency is obtained by setting ( $n_{ji} = 1/n_{ij}$ ). Therefore, the comparison needs to be repeated for each column of the matrix, i.e. independent judgments must be made over each pair. The matrix is consistent if and only if ( $\lambda_{\max} = n$ ). Considering that the inequality ( $\lambda_{\max} > n$ ) always exists, the average of the remaining eigenvalues can be used as a "consistency index" ( $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ ), which is the difference

distintos (Figura 1). (D) Desarrollo del esquema de ponderación y clasificación de las opciones: El propósito del AHP es proporcionar un vector de pesos que exprese la importancia relativa de las alternativas de diseño para cada criterio elegido.

La escala de importancia fue definida de acuerdo con la metodología adoptada por Caldara et al (13) usando una escala de 1 a 9 para la comparación de pares (Tabla 2).

Se construyó una matriz de comparación de pares en la aplicación del sistema AHP, en la cual se asignan filas y columnas a los componentes pertenecientes al mismo componente relacionado en la jerarquía de la decisión. El peso del componente  $i$  en comparación con el componente  $j$  en relación con el componente correspondiente se determina mediante la escala (Tabla 2) y es asignado a la posición  $(i, j)$  de la matriz de comparación de pares (9) que ha sido elegida para justificar las comparaciones dentro de un rango limitado, pero con una sensibilidad suficiente. El valor recíproco del número asignado se asigna a la posición  $(j, i)$ . Una vez se ha construido la matriz de comparación de pares, los pesos de los componentes son calculados buscando una solución para el vector propio de la matriz de comparación de pares.

La consistencia se obtiene estableciendo la relación ( $n_{ji} = 1/n_{ij}$ ). Por lo tanto, la comparación debe repetirse para cada columna de la matriz, es decir, deben hacerse juicios independientes para cada par. La matriz es consistente si y sólo si ( $\lambda_{\max} = n$ ). Teniendo en cuenta que la desigualdad ( $\lambda_{\max} > n$ ) existe siempre, el promedio de los valores propios restantes puede ser utilizado como un "índice de consistencia" ( $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ ), el cual es la diferencia entre ( $\lambda_{\max}$ ) y  $n$  dividido por el factor de normalización ( $n - 1$ ). El índice de consistencia de la selección del mejor proceso de marinado se comparó con el índice de consistencia aleatorio promedio (RI) que fue obtenido a partir de las



**Figure 1.** Scheme of the chosen criteria for selecting the most appropriate marination solution for pork and the four alternatives tested experimentally.

**Table 2.** Adopted scale of importance.

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong or demonstrated importance
9	Extreme importance
2, 4, 6, 8	Intermediate values
Reciprocals of above	If factor $i$ has one of the above numbers assigned to it when compared to factor $j$ , then $j$ has the reciprocal value when compared with $i$

Adapted from Caldara et al (13).

between ( $\lambda_{max}$ ) and n divided by the normalizing factor (n - 1). The consistency index of the selection of the best marination process was compared with the average random consistency index (RI) which was obtained from associated random matrices of order n to compute the error due to inconsistency (9). A consistency ratio (CR= CI/RI) correlating the consistency index and a random consistency index (RI) value lower than 10% was adopted, in order to maintain the matrix consistent. The important component of this decision theory is the preference that is associated with a utility function. In this decision making process, both preferences and uncertainty were merged into a unified and analytical framework, which were related to the data from the experimental procedure.

The results statistical levels of significance were used as reference for applying in the pairwise comparisons for the criteria shown in figure 1 and the choice of alternatives. Computational calculations and analysis was done using the web based software (15).

**RESULTS**

The weight is referred to the importance an explicit factor was considered by the experts and results from the experiment. Global weights confirm that physical characteristics were more significant (75.0%) in selecting the best marination then sensorial characteristics (25%) as seen in figure 2A.

Within the sub-criteria for each characteristic those, which were determinant in the final results, were the exudates loss (27.3%) followed by the cooking loss (18.1%) and the salt solution retention (13.9%).

The best marination was found as the solution that mix up the three salts  $Na_2CO_3+NaCl+Na_5P_3O_{10}$

matrices aleatorias asociadas de orden n para calcular el error debido a la inconsistencia (9). Se adoptó una relación de consistencia (CR= CI/RI) que correlacionará el índice de consistencia y un valor del índice de consistencia aleatorio (RI) inferior al 10%, con el fin de mantener la consistencia de la matriz. El componente más importante de esta teoría de la decisión es la preferencia que se asocia con una función de utilidad. En este proceso de toma de decisiones, tanto las preferencias y la incertidumbre se fusionaron en un marco unificado y analítico, que se relacionada con los datos del procedimiento experimental.

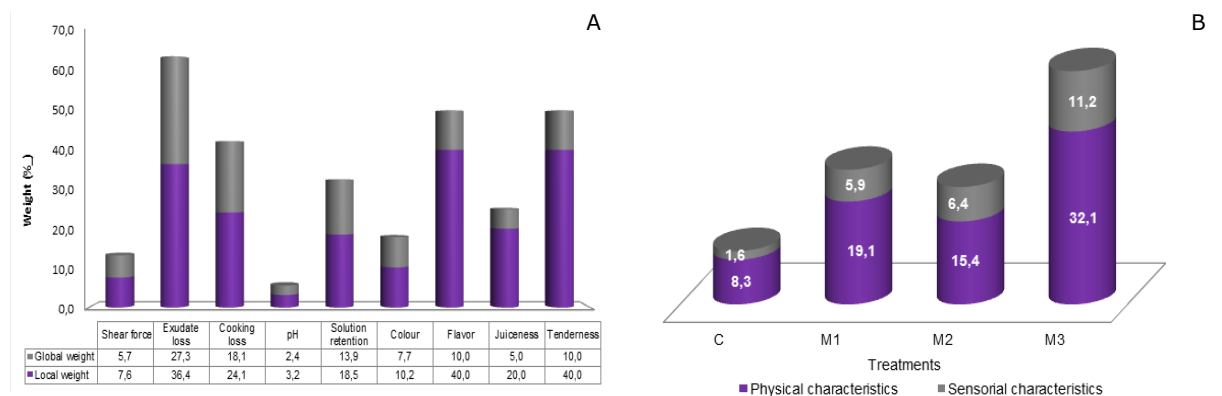
Los resultados estadísticos de los niveles de significancia fueron utilizados como referencia para ser aplicados en las comparaciones de pares para los criterios que se muestra en la figura 1 y en la elección de alternativas. Se realizaron cálculos y análisis computacionales utilizando software web (15).

**RESULTADOS**

El peso se refiere a la importancia de que un factor explícito haya sido considerado por los expertos y en los resultados del experimento. Los pesos globales confirman que las características físicas fueron más significativas (75.0%) en la selección del mejor marinado que las características sensoriales (25%) como se observa en la figura 2A.

Los subcriterios que fueron determinantes en los resultados finales para cada característica fueron la pérdida de exudado (27.3%) seguido por la pérdida de peso por cocción (18.1%) y la retención de la solución salina (13.9%).

Se encontró que el mejor marinado correspondía a una solución que mezcla las tres sales  $Na_2CO_3+NaCl+Na_5P_3O_{10}$  (43.3%), seguida de  $Na_2CO_3 + NaCl$  (25%) y  $Na_5P_3O_{10} + NaCl$  (21.8%). El grupo de control representó el peor resultado (9.9%) como se muestra en la figura 2B. Las



**Figure 2.** **A.** Local weight is the result when the sub-criteria are compared between themselves in a pairwise manner. Global weight is the local weight multiplied by the corresponding weight of the higher level criterion. **B.** Overall AHP score results of the marination solutions aiming at improvement the pork quality.

(43.3%), followed by  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$  (25%), and  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} + \text{NaCl}$  (21.8). The control was the worst result (9.9%) as shown in figure 2B. The physical characteristics (pH, retention of the solution, weight loss, cooking weight loss and shear force) were the most significant criteria in the second level (74.9%).

Although the sensory attributes presented lower weight in deciding the best solution of the marination, it was observed that these attributes were somewhat higher in the marinated meat (>23%) compared to control, whose participation was only 16%. This was expected since the samples of the control treatment received no injection solution, while the others were injected with solutions containing ingredients considered flavors.

Comparing the samples without the marinated meat marinated meat samples, it was observed that the characteristics were improved by the application of treatments figure 3, A-D.

Compared with the control, the marination solutions M1, M2, M3 shown to be effective in improving the physical characteristics and the color characteristics of pork.

## DISCUSSION

The marination of the meat with alkaline solutions, obtained by means of phosphate and sodium bicarbonate, reduces the loss of the water content by increasing the water binding and retention of the natural juice (8,17).

The reduction in the cooking loss may be partly explained by water-protein chemical interaction that occurring in the marination process. This interaction is due to the attraction of the charges, which are affected by the pH of the brine. During the meat cooking process it occurred the fixing of water through of the solidification of the gel protein where the water content and absorbed are retained. The salts and phosphates used in marination act on the muscle fiber de-polymerized the myosin filaments and facilitating the segregation of the complex act-myosin, increasing the dissolved protein (17,18). Moreover, sequester the metal ions negatively charged, leaving the positive charges available for binding the water molecule, thereby promoting the increased of the capacity of the meat to retain water (7,17,18). The marination with a solution of the sodium chloride and tripolyphosphate improves the texture of the fibers of the meat, making it the softest (5). In general, the most obvious mechanisms in reducing of the shear force after application of

características físicas (pH, retención de la solución, pérdida de peso, fuerza de corte y pérdida de peso por cocción) fueron los criterios más significativos en el segundo nivel (74.9%).

Aunque los atributos sensoriales presentan un menor peso para tomar una decisión en cuanto a la mejor solución de marinado, se observó que estos atributos eran un poco más altos en la carne marinada (>23%) en comparación con el grupo de control, cuya participación fue únicamente del 16%. Esto no era inesperado puesto que las muestras del tratamiento de control no recibieron ninguna solución inyectable, mientras que las demás fueron inyectadas con soluciones con ingredientes saborizantes.

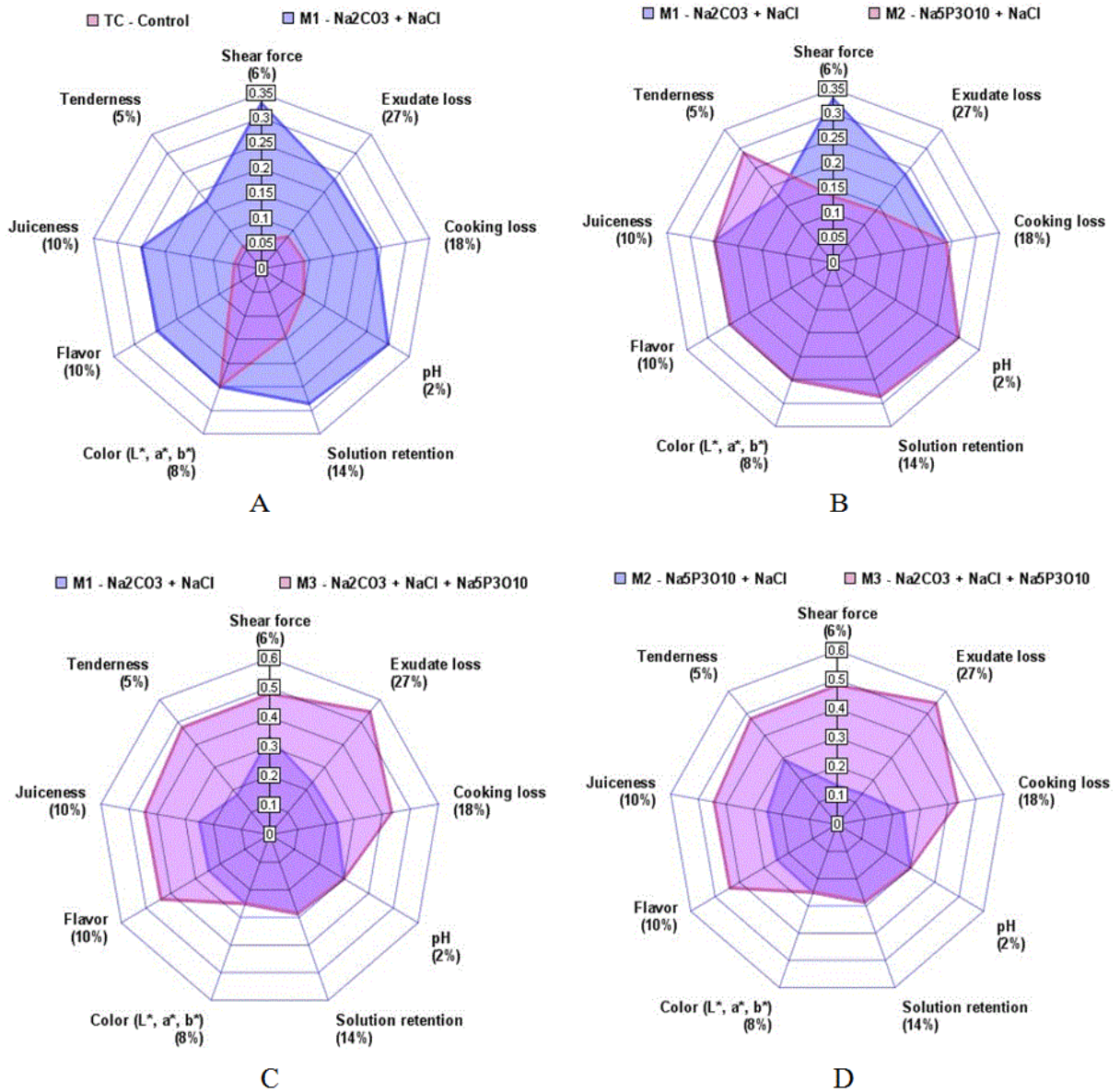
Al comparar las muestras de carne marinadas y sin marinar, se observó que las características mejoraron debido a la aplicación de los tratamientos, figura 3, A-D.

En comparación con el grupo de control, las soluciones de marinado M1, M2, M3 demostraron ser efectivas en mejorar las características físicas y las características de color de la carne de cerdo.

## DISCUSIÓN

El marinado de la carne con soluciones alcalinas obtenidas por medio de fosfato y bicarbonato de sodio, reduce la pérdida del contenido en agua mediante el aumento de la capacidad higroscópica y de retención de agua del zumo natural (8,17).

La reducción de la pérdida de peso por cocción puede explicarse en parte por la interacción química del agua y las proteínas que puede producirse en el proceso de marinado. Esta interacción es causada por la atracción de las cargas que son afectadas por el pH de la salmuera. El agua fue fijada durante el proceso de cocción de la carne a través de la solidificación de la proteína en gel donde se retiene el contenido de agua absorbida. Las sales y los fosfatos utilizados en el marinado actúan sobre las fibras musculares polimerizando los filamentos de miosina y facilitando la segregación del complejo actomiosina, incrementando las proteínas disueltas (17,18). Por otra parte, se secuestraron los iones metálicos con carga negativa dejando las cargas positivas disponibles para atar la molécula de agua, promoviendo así el aumento de la capacidad de la carne para retener agua (7,17,18). El marinado con una solución de cloruro de sodio y tripolifosfato mejora la textura de las fibras de la carne, haciéndola más suave (5). En general, los mecanismos más obvios para reducir la fuerza de corte después de la aplicación de soluciones salinas son el hinchamiento y relajación de las fibras musculares. Este edema es potenciado por el uso



**Figure 3.** Comparison of marination solutions evaluated, taking into consideration the improvement of physical and sensory attributes of pork. (Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> – sodium tripoliphosphate, NaCl – sodium chloride and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – sodium bicarbonate).

the salt solutions are both swollen and relaxation of the muscle fibers. This edema is potentiated by the use of alkaline brine, obtained from the use of phosphoric salts, bicarbonates, sodium chloride (19) and particularly the association between them (4,6,20).

The sodium chloride present in the solution also plays an decisive role in the meat tenderness by acting on the extraction and solubilization of the muscle proteins and emulsification of the fats, contributing to the increased of the water-

de la salmuera alcalina, obtenida a partir del uso de sales fosfóricas, bicarbonatos, cloruro de sodio (19) y particularmente la asociación entre las mismas (4,6,20).

El cloruro de sodio presente en la solución también desempeña un papel decisivo en la ternura de la carne por medio de la extracción y la solubilización de las proteínas musculares y la emulsificación de las grasas, contribuyendo al aumento de la capacidad de retención de agua, mejorando la ternura y la textura de la carne (7, 21). Este efecto mejora las



holding capacity, improving the tenderness and texture of the meat (7, 21). This effect enhances the meat characteristics promoted by the action of sodium chloride was also observed by the authors (22) when working with acid solution. The weakening of the myofibril by the action of sodium bicarbonate is not well understood although, it is clear that the reduction in shear force has been similar to that achieved with sodium chloride and phosphate. Since the water-holding capacity directly influences the sensory characteristics of the meat, the flavor, juiciness and tenderness were significantly improved with the marination process (8). The softness can be attributed to a combination of the higher water content and the muscle structure weakened by the action of the salts. The juiciness of the marinated pork loins can be explained partly due to the reduction of and cooking loss, promoted by alkaline salt solution. When the alkaline salts were used alone M1 and M2 it showed a similar effect on the improvement of most characteristics evaluated, except that of the solution M1, which promoted the less shear force of the meat, while the solution M2 provided better tenderness, as evaluated by the panel sensory figure 3B. As it was assigned higher weights to the physical than to the sensorial characteristics, the solution M1 can be considered better figure 2.

With the exception of pH, retention of the solution and color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), all parameters were improved by the association of the salts M3 when compared to their use individually figures 3C and 3D. It was proven in this way, positive synergy effect between the salts, greatly improving the quality characteristics of pork, supported by studies of (4).

The multicriterial analysis using AHP provided a comprehensive view of the results that were found statistically in a compartmentalized manner. When the criterion were separately analyzed, it becomes more difficult to decide on the best alternative, whether the results are somewhat different among the different criterion. Thus, with assigned weights according to their relative importance, in view of the processing industries and consumers, it was possible to determine in a global context which was the best amongst the tested alternatives.

In conclusions the multicriteria analysis was able to reveal the most suitable choice for the marination of the pork, given all the criteria involved in the selection process. The analysis indicates that use of the alkaline salts in combination is the best way to improve the physical and sensory characteristics of the meat.

características de la carne acentuado por la acción del cloruro de sodio, lo que también fue observado por los autores (22) cuando trabajaron con la solución ácida. El debilitamiento de las miofibrillas por la acción del bicarbonato de sodio no es entendido completamente, aunque es evidente que la reducción en la fuerza de corte ha sido similar a la alcanzada con el fosfato y cloruro de sodio. Puesto que la capacidad de retención de agua influye directamente en las características organolépticas de la carne, el sabor, la jugosidad y la terneza mejoraron significativamente con el proceso de marinado (8). La suavidad puede atribuirse a una combinación de un mayor contenido de agua y a la estructura muscular debilitada por la acción de las sales. La jugosidad de la carne de cerdo marinada puede explicarse en parte debido a la reducción y pérdida de peso por cocción, promovida por la solución de sales alcalinas. Cuando las sales alcalinas M1 y M2 fueron utilizadas se demostró un efecto similar en la mejora de la mayoría de las características evaluadas, excepto la de la solución M1, que tuvo como resultado una menor fuerza de corte de la carne, mientras que la solución M2 produjo la mejor terneza, según lo evaluado por el panel sensorial en la figura 3B. Ya que se asignaron pesos mayores a las características físicas en comparación con las características sensoriales, la solución M1 puede considerarse como mejor, figura 2.

Con la excepción del pH, la retención de la solución y del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), hubo una mejoría en todos los parámetros por la asociación de las sales M3 en comparación con su uso individual, figuras 3C y 3D. De esta manera se ha demostrado el efecto de sinergia positiva entre las sales, mejorando notablemente las características de calidad de la carne de cerdo, en base a los estudios realizados (4).

El análisis multicriterial realizado utilizando AHP brindó una visión global de los resultados que se encontraron estadísticamente de forma compartimentada. Cuando los criterios fueron analizados por separado, se hizo más difícil decidir cuál es la mejor alternativa, ya que los resultados son un poco diferentes entre los diferentes criterios. Por lo tanto, con los pesos asignados según su importancia relativa de acuerdo con la industria y los consumidores, fue posible determinar cuál fue la mejor de las alternativas probadas en un contexto global.

En las conclusiones del análisis multicriterio se reveló la opción más adecuada para el marinado de la carne de cerdo, en vista de todos los criterios involucrados en el proceso de selección. El análisis indica que el uso de una combinación de sales alcalinas es la mejor manera de mejorar las características físicas y sensoriales de la carne.

## REFERENCES

1. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Mechanisms of water holding capacity of meat the role of post mortem biochemical and structural changes. *Meat Sci* 2005; 71:194-204.
2. Alvarado C, Mckee, S. Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *J Appl Poult Res* 2007; 16(1):113-120.
3. Daguer H, Assis MTQM, Bersot LS. Controle da utilização de ingredientes não cárneos para injeção e marinação de carnes. *Cienc Rural* 2010; 40(9):2037-2046.
4. Sheard PR, Tali A. Injection of salt, tripolyphosphate and bicarbonate marinade solutions to improve the yield and tenderness of cooked pork loin. *Meat Sci* 2004; 68(2):305-311.
5. Komoltri P, Pakdeechnuan P. Effects of marinating ingredients on physicochemical, microstructural and sensory properties of golek chicken. *Int Food Res J* 2012; 19(4):1449-1455.
6. Xu SQ, Zhou GH, Peng ZQ, Zhao LY, Yao R. The influence of polyphosphate marination on Simmental beef shear value and ultrastructure. *J Muscle Foods* 2009; 20(1):101-116.
7. Saha A, Lee Y, Meullenet JF, Owens CM. Consumer acceptance of broiler breast fillets marinated with varying levels of salt. *Poult Sci* 2009; 88(2):415-423.
8. Santos VMO, Caldara FR, Seno LS, Feijó GLD, Almeida Paz ICL, Garcia RG, et al. Marinade with alkaline solutions for the improvement of pork quality. *Pesq Agropec Bras* 2012; 47(11):1655-1662.
9. Saaty TL, Vargas LG. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, 2nd Edition. New York, USA: International Series in Operations Research & Management Science. Springer; 2012.
10. Pilecco M, Almeida Paz ICL, Tabaldi LA, Nääs IA, Garcia RG, Caldara FR, et al. Multi-Criteria analysis of the influence of rearing, equipment, and catching management practices on the incidence of back scratches in broilers. *Rev Bras Cienc Avic* 2012; 14(4):233-304.
11. Omkarprasad SV, Sushil K. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *Eur J Oper Res* 2006; 169(1):1-29.
12. Srdjevic B. Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. *Decis Support Syst* 2007; 42(4):2261-2773.
13. Caldara FR, Garcia RG, Almeida Paz ICL, Nääs IA, Santos RKS, Foppa L. Assessing the most suitable floor system for growing finishing piggery under tropical conditions using the analytic hierarchy process. *Ital J Anim Sci* 2014; 13(1):136-141.
14. Almeida Paz ICL, Garcia RG, Bernardi R, Nääs IA, Caldara FR, Freitas LW, et al. Selecting appropriate bedding to reduce locomotion problems in broilers. *Rev Bras Cienc Avic* 2010; 12(3):189-195.
15. MakeItRational – Analytical Hierarchy Process Software. 2009. URL Disponible en: <http://makeitrational.com/analytic-hierarchy-process/ahp-software>.
16. Sheard PR, Nute GR, Richardson RI, Wood JD. Effects of breed and marination on the sensory attributes of pork from Large White and Hampshire-sired pigs. *Meat Sci* 2005; 70(4):699-707.
17. Haluk E, Gokce R. Comparison of marinating with two different types of marinade on some quality and sensory characteristics of Turkey breast meat. *J Anim Vet Adv* 2011; 10(1):60-67.
18. Bertram HC, Meyer RL, Wu Z, Zhou X, Andersen HJ. Water Distribution and microstructure in enhanced pork. *J Agric Food Chem* 2008; 56(16):7201-7207.
19. McDonnell CK, Lyng JG, Allena P. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Sci* 2014; 98(2):142-149.
20. Szerman N, Gonzalez CB, Sancho AM, Grigioni G, Carduza F, Vaudagna SR. Effect of whey protein concentrate and sodium chloride addition plus tumbling procedures on technological parameters, physical properties and visual appearance of sous vide cooked beef. *Meat Sci* 2007; 76(3):463-473.
21. Baublits RT, Meullenet JF, Sawyer JT, Mehaffey JM, Saha A. Pump rate and cooked temperature effects on pork loins instrumental, sensory descriptive and consumer-rated characteristics. *Meat Sci* 2006; 72(4):741-750.
22. Goli T, Ricce J, Bohuon P, Marchesseau S, Collignan A. Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. *Meat Sci* 2014; 96(3):1133-1140.