

Historical, mathematical and nutritional bases of Pearson Square as a fit method for ruminant rations

Bases matemático-nutricionales e históricas del Cuadro de Pearson como método de ajuste de raciones para rumiantes

A.A. Santana¹, L.A Pernía¹ and D.A Santana²

¹ Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba

² Centro Universitario Municipal de Campechuela, Granma, Cuba

Email: santana@udg.co.cu

To analyze the historical evolution and the mathematical and nutritional bases of Pearson square, as fit method for ruminant rations, with the objective of proposing a faster and more professional substitute way, a documental research was performed and theoretical methods of research were also applied. It was possible to conclude that the method is old, simple in its procedure and, because of its mathematical basis, exact and adaptable to the rations formulation for ruminants, adjusting a nutrient and the dry matter required with two feeds, but it can be substituted by a simple equation stated at the end of the research, which allows to save time and steps with more professionalism.

Key words: *Pearson square, method, rations, formulations, equations.*

The current situation of the tropical livestock forces professionals and technicians to optimize the use of all their resources. Today, it has been decreed that the implementation of reasoning and mathematical means in the biological sciences must transform them in next decades (NRC2005). In this process, the ration formulation for animals is very important, because the feeds represent the highest cost of the animal production.

The understanding and control of the calculation methods is very important for this end, since the knowledge level of those who formulate the rations may influence on the use efficiency of this material resource. The researches that have been carried out on nutritious valuation of feeds have made possible that, at present, ruminant rations adjusted on the basis of many nutrients and, mainly, from different divisions. As a consequence, there has been an evolution from the classic adjustments of dry mater intake (DMI), crude protein (CP), total of digestible nutrients (TDN), metabolizable energy (ME), until the most current adjustments of net energy (NE), metabolizable protein (MP), digestible protein in the intestine (DPI), essential amino acids (EAA) and neutral detergent fiber (NDF) (García and Cáceres 1984, Lanzas *et al* 2008 and van Amburgh *et al.* 2009).

In spite of it, regardless of which and how many nutrients are wanted to adjust, the calculation procedures will be the same, except that while more

Para analizar la evolución histórica y las bases matemáticas y nutricionales del Cuadro de Pearson, como método de ajuste para raciones destinadas a rumiantes, con el propósito de proponer una vía sustitutiva más rápida y profesional, se efectuó una investigación documental y se aplicaron además, métodos teóricos de investigación. Fue factible concluir que el método es antiguo, sencillo en su proceder y, por su basamento matemático, exacto y adaptable a la formulación de raciones para rumiantes, ajustando un nutriente y la materia seca requeridos con dos alimentos; pero que puede sustituirse por una ecuación simple que se propone al final del trabajo la cual permite ahorrar tiempo y pasos con más profesionalidad.

Palabras clave: *Cuadro de Pearson, método, raciones, formulación, ecuaciones.*

La situación actual de la ganadería tropical obliga a los profesionales y técnicos a optimizar el uso de todos sus recursos. En la actualidad se ha decretado que la implementación de los razonamientos e instrumentos matemáticos en las ciencias biológicas ha de transformarlas en las próximas décadas (NRC 2005). En este proceso, la formulación de raciones para los animales es de gran importancia, pues los alimentos representan el costo mayor de la producción animal.

La comprensión y el dominio de los métodos de cálculo es muy importante para este fin, ya que el nivel de conocimientos que posean quienes formulan las raciones puede influir en la eficiencia de uso de este recurso material. Las investigaciones que se han realizado acerca de valoración nutritiva de los alimentos han posibilitado que en la actualidad se ajusten las raciones para los rumiantes sobre la base de muchos nutrientes y, fundamentalmente, a partir de diferentes fraccionamientos. Como consecuencia de ello, se ha evolucionado desde los clásicos ajustes del consumo de materia seca (CMS), de la proteína bruta (PB), el total de nutrientes digestibles (TND), la energía metabolizable (EM), hasta los más actuales de la energía neta (EN), proteína metabolizable (PM), proteína digestible en el intestino (PDI), aminoácidos esenciales (AAE) y fibra neutro detergente (FND) (García y Cáceres 1984, Lanzas *et al* 2008 y van Amburgh *et al.* 2009).

A pesar de ello, independientemente de cuáles y cuántos nutrientes se deseen ajustar, los procedimientos de cálculos serán los mismos, solo que mientras más dominio

control you has of them, more easier, faster and with more precision and conveniently the rations formulas will be fitted.

Considering the above, the objective of this study was to analyzed the historical evolution of the mathematical and nutritional bases that allow to use necessarily and appropriately the Pearson Square (PS), as fit method of ruminants rations, so that allows to propose a substitute way more faster and professional.

Materials and Methods

A methodological combination, consistent with the logical necessity of the subject matter was anticipated. A documentary research was firstly carried out, in which the current principles were considered (Denzin and Lincoln 2005 and Corbin and Strauss 2008) and the inquiry categories centered in Pearson Square and its homologous Cruz de Cobenze were checked, as search descriptors, in internet and in printed documents from scientific institution libraries (Universidad de Granma, Universidad de Oriente, Instituto de Ciencia Animal, Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Instituto de Investigaciones "Jorge Dimitrov"), production entities (Complejo Agroindustrial "Enidio Díaz Machado", located at Campechuela municipality, Granma province), and in others that belong to several specialists of the field.

The search of publications with more edition time was prioritized, because it is of interest to study the chronological evolution of methods. From the triangulation process and references convergence, the information was systematized and categorized, according to opinions that facilitated the sources contrast, allowing chronologically organizes and select documents of more scientific rigor. Join to it, there were also carried out some confirmation interviews to highlight the relevance criteria of the Pearson or Cruz de Cobenze method, so as to confirm that they were always important in the sectors and they are use for many years.

The documents editorials were also valued, as criteria to approach the documental sources authenticity.

As it was necessary, the research theoretical methods were also used (analytic- synthetic, inductive-deductive, historical- logical) to carry out the documental research phases, and to guarantee the propositions and recommendation novelty, according to Hernández-Sampier (2003).

Results and Discussion

The Simple Pearson Square is one of the most used methods to formulate rations. This is because it is simple, it can mechanically learn by the less educated, without knowing their mathematic bases, and allows to adjust with two foods (or food mixtures) exactly the amount of dry matter and of a nutrient that requires an animal that,

se tenga de ellos, más fácil, rápido y con más precisión y convenientemente se ajustarán las fórmulas de las raciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar la evolución histórica de las bases matemáticas y nutricionales que permiten emplear adecuada y oportunamente el Cuadro de Pearson (PS), como método de ajuste de raciones para rumiantes, de modo que permitiese proponer una vía sustitutiva más rápida y profesional.

Materiales y Métodos

Se previó una combinación metodológica, consecuente con la necesidad lógica del objeto de estudio. Se realizó primeramente una investigación documental, en la que se consideraron los principios actuales (Denzin y Lincoln 2005 y Corbin y Strauss 2008) y se revisaron las categorías de indagación centradas en el Cuadro o Cuadrado de Pearson (Pearson Square) y su homólogo, la Cruz de Cobenze, como descriptores de búsqueda, en internet y en documentos impresos de bibliotecas de instituciones científicas (Universidad de Granma, Universidad de Oriente, Instituto de Ciencia Animal, Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Instituto de Investigaciones "Jorge Dimitrov"), entidades de la producción (Complejo Agroindustrial "Enidio Díaz Machado", ubicado en el municipio Campechuela, provincia de Granma), y en otros que eran propiedad de varios especialistas del ramo.

Se priorizó la búsqueda de publicaciones con mayor tiempo de edición, pues es de interés estudiar la evolución cronológica de los métodos en cuestión. A partir del proceso de triangulación y convergencia de referencias, se sistematizó y categorizó la información, según criterios que posibilitaron el contraste de fuentes, lo que permitió organizar y seleccionar cronológicamente los documentos de más rigor científico. Unido a ello, también se realizaron algunas entrevistas de confirmación para destacar el criterio de la relevancia del método de Pearson o de la Cruz de Cobenze, de modo que se pudiera confirmar que fueron siempre importantes en los sectores los usan desde hace muchos años.

Se valoraron también las editoriales de los documentos, como criterio para apreciar la autenticidad de las fuentes documentales.

Según fue necesario, se emplearon también los métodos teóricos de investigación (analítico-sintético, inductivo-deductivo, histórico-lógico) para cumplir las fases de la investigación documental, y para garantizar la novedad de las proposiciones y recomendaciones, según Hernández-Sampier (2003).

Resultados y Discusión

El Cuadrado o Cuadro de Pearson Simple es uno de los métodos más empleados para formular raciones. Esto obedece a que es sencillo, se puede aprender hasta mecánicamente por los menos instruidos, sin que se conozcan sus bases matemáticas, y permite ajustar con dos alimentos (o mezclas de alimentos) exactamente la

as is refers in the literature, and for what the practice has shown, it is preferred the energy or the protein, in expression form. Authors as Afolayan and Afolayan (2008) and Omidiora *et al.* (2013) showed this way, to mention some.

It is recognized in all consulted publications that if it is needed to adjust a ration so that it contains 10.5% of CP (need N) with a food "A", that has 7.8% (concentration in A, C_A) and one "B" of 16.0% (C_B), then must take into account the requirements and carried out the steps and following calculation:

1. To verify that all units in which the composition and need (%) are expressed be equals.

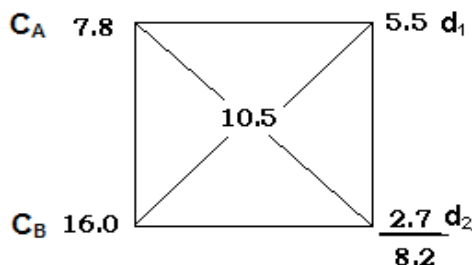
2. To guarantee that one of the two foods contain a value higher to the need and lower in the other one. This is decisive to choose the two foods with those the nutrient will be adjusted or to notice if the available foods (or mixtures) can be used to adjust the need by means of this method.

3. To draw a square or rectangle, in which are written down in the left angles the values of the relative contributions (C_A and C_B) of the two foods and in the center, the wanted concentration (N). It can also make a cross.

4. To calculate the absolute differences (d_1 and d_2) of both contributions with the need

$$d_1 = |C_B - N|; \quad d_2 = |C_A - N|$$

5. To add the two differences ($d_1 + d_2$).



From these two absolute differences (5.5 and 2.7) and the sum (8.2), the inferences that are bellow can be made. Also notice that $C_a - C_b = d_1 - d_2$

• The ration DM consists on 5.5 (d_1) parts of the food "A" and 2.7 (d_2) of "B".

• For each kg of the ration DM, should be use 0.6707 kg of DM of "A" ($\frac{5.5}{8.2}$) and 0.3293 kg of DM of "B" ($\frac{2.7}{8.2}$), which is the rest.

• The remaining DM of the ration will have 67.07 % of "A" ($\frac{d_1}{d_1 + d_2} \times 100 = \frac{5.5 \times 100}{8.2}$) and 32.93 % of "B"

$$\left(\frac{d_2}{d_1 + d_2} \times 100 = \frac{2.7 \times 100}{8.2} \right).$$

With the calculations carried out in any of the three previous ways, it must obtain a combination of A and B, so CP is 10.5%.

For these reasons, Person square is simple, and assures that there is precision in a nutrient and in the dry matter of the ration. However, they are always imposed several logical questioning, when the method

cantidad de materia seca y de un nutriente que requiere un animal que, según se refiere en la literatura, y por lo que ha demostrado la práctica, se prefiere que sea la energía o la proteína, en cualquier forma de expresión. Así lo indican autores como Afolayan y Afolayan (2008) y Omidiora *et al.* (2013), por citar algunos.

Se reconoce en todas las publicaciones consultadas que si se necesita ajustar una ración para que contenga 10.5 % de PB (necesidad N) con un alimento "A", que posea 7.8 % (concentración en A, C_A) y uno "B" de 16.0 % (C_B), entonces se han de tener en cuenta los requisitos y se realizan los pasos y cálculos siguientes:

1. Verificar que todas unidades en que están expresadas la composición y la necesidad (%) sean iguales.

2. Garantizar que uno de los dos alimentos contenga un valor superior a la necesidad, y que en el otro sea inferior. Esto es decisivo para escoger los dos alimentos con los que se ajustará el nutriente o para percatarse de si los alimentos (o mezclas) disponibles se pueden emplear para ajustar la necesidad mediante este método.

3. Dibujar un cuadrado o rectángulo, en el que se anoten en los ángulos izquierdos los valores de los aportes relativos (C_A y C_B) de los dos alimentos y en el centro, la concentración deseada (N). También se puede hacer una cruz.

4. Calcular las diferencias absolutas (d_1 y d_2) de ambos aportes con la necesidad

$$d_1 = |C_B - N|; \quad d_2 = |C_A - N|$$

5. Sumar las dos diferencias ($d_1 + d_2$).

A partir de estas dos diferencias absolutas (5.5 y 2.7) y su suma (8.2), se pueden hacer las inferencias que aparecen a continuación. Nótese también que $C_a - C_b = d_1 - d_2$

• La MS de la ración está formada por 5.5 (d_1) partes del alimento "A" y 2.7 (d_2) del "B".

• Por cada kg de MS de la ración, se deben emplear 0.6707 kg de MS de "A" ($\frac{5.5}{8.2}$) y 0.3293 kg de MS de "B" ($\frac{2.7}{8.2}$), que es el resto.

• La MS restante de la ración tendrá 67.07 % de "A" ($\frac{d_1}{d_1 + d_2} \times 100 = \frac{5.5 \times 100}{8.2}$)

$$\text{y } 32.93 \% \text{ de "B"} \left(\frac{d_2}{d_1 + d_2} \times 100 = \frac{2.7 \times 100}{8.2} \right).$$

Con los cálculos realizados en cualquiera de las tres formas anteriores, se ha de obtener una combinación de A y B, de modo que la PB es con certeza 10.5 %.

Por estas razones, el cuadrado de PS es sencillo, y asegura que haya exactitud en un nutriente y en la materia seca de la ración. Sin embargo, se imponen siempre varias interrogantes lógicas, cuando se describe

is described to beginners, students and to the onlookers or autodidacts: to explain that the difference between the food contribution and the need are written down in the square opposed diagonal, and it generate the proportion that should be used of the other food.

It is suppose that if a ration for cows of 500 kg weight is adjusted, in milk production (11 kg/d with 3.5 % of fat), and star grass (*Cynodon nlemfuensis*), of regular quality, with the possibility of also given, as average 1.506 kg of commercial concentrate per animal, as well as sugar molasses and leucaena foliage (*Leucaena leucocephala*). Of previous measures, it was obtained that the star grass availability was of 24.25 kg per animal.

It is necessary to explain that as PS allows to obtain two quantities of food that cannot vary, and if you has four foods, of which two are fixed (24.25 kg of star grass and 1.516 kg of concentrate), then with the other two is that is intended to adjust the ME or the CP. This explains one of the method limitations and, in turn, the need of always combine it with others, so, to exactly satisfy the need of the adjusted nutrient, the two proportions or obtained percentages are invariable, unique, and could happen that the achieved values are not convenient for physiological and economical reasons, as it can be the higher concentrate relation: forage. It is suggested, therefore, to calculate the nutrients contributions of the two first foods, to compare them with the nutritious requirements and

el método a principiantes, estudiantes y a los curiosos o autodidactas: ¿Cómo explicar que la diferencia entre el aporte de un alimento y la necesidad se anotan en la diagonal opuesta del cuadro, y ello genera la proporción que se debe utilizar del otro alimento?

Supóngase que se desea ajustar una ración para vacas de 500 kg de peso, en producción de leche (11 kg/d con 3.5 % de grasa), y pastoreo de estrella (*Cynodon nlemfuensis*), de calidad regular, con la posibilidad de suministrar además, como promedio, 1.506 kg de concentrado comercial por animal, así como de miel de caña y follaje de leucaena (*Leucaena leucocephala*). De mediciones previas, se obtuvo que la disponibilidad de pasto estrella fue de 24.25 kg por animal.

Es necesario aclarar que como PS permite obtener dos cantidades de alimentos que no pueden variar luego, y si se dispone de cuatro alimentos, de los que dos ya son fijos (24.25 kg de pasto estrella y 1.516 kg de concentrado), entonces con los otros dos es que se pretende ajustar la EM o la PB. Lo anterior explica una de las limitaciones del método y, a su vez, la necesidad de combinarlo siempre con otros, pues para que se logre satisfacer exactamente la necesidad del nutriente ajustado, las dos proporciones o porcentajes obtenidos son invariables, únicos, y pudiera suceder que los valores logrados no sean convenientes por razones fisiológicas y económicas, como puede ser la elevada relación concentrado:forraje. Se sugiere, por tanto, calcular los aportes de nutrientes de los dos primeros alimentos, compararlos con los

Table 1. Chemical composition of feeds¹

Feeds	DM (%)	Dry basis	
		ME (MJ/kg)	CP (%)
Star grass	26.80	9.037	11.00
Commercial concentrated preparation	86.10	10.79	16.90
Sugar cane molasses	73.90	11.72	5.60
Leucaena foliage	30.00	9.414	20.00

¹Taken from García and Cáceres (1984)

Table 2. Mean nutritional requirements of each cow

Concepts	Daily amounts		
	DMI ² (kg)	ME ¹ (MJ)	CP ¹ (g)
Maintenance (500 kg)		58.83	432.0
Milk production (11 kg, 3.5 % of fat)		53.38	902.0
+ 20% ME per grass quality		11.77	
Total	13.05	124.0	1334.0

¹Taken from García and Cáceres (1984)

²DMI (kg) = 5.830 + 0.008P + 0.359L + 4.719G - 0.028C (Trujillo-Figueroa 1987)

Where:

P = liveweight of the animal (kg),

L = daily production of milk (kg),

G = daily weight gain (kg)

C = percentage of the concentrated preparation on the ration (%)

to adjust the difference with the use of molasses and leucaena.

After knowing the nutritional benefits of the amounts of star grass and concentrated preparation, an adjustment to the difference in a nutrient (ME or CP) and DM was performed, with the two feeds available for it (molasses and leucaena), which is possible with PS. The difference obtained shows that there are still missing 51.18 MJ of ME and 399 g of CP to provide to the animal, at a maximum of 5.245 kg of DM, which is the remaining of the DMI. Then, these three values need to be adjusted.

As a preference of who formulates the diet, choosing between ME and CP could be subtracted to apply Pearson. But the needs (51.18 MJ and 399 g) are expressed in units, different to the contributions of ME (MJ/kg) and PB (%) of feed (table 1). And this is where emerges a big difference in the application of the method on rations for ruminants, regarding its use to formulate industrial mixtures, which is resolved by transforming the needs of units from quantity to density in the remaining DM (5.245 kg). Therefore, one of the demands to apply the square is fulfilled.

requerimientos nutritivos y ajustar la diferencia con el uso de la miel y la leucaena.

Al conocerse los aportes nutritivos de las cantidades de pasto estrella y del concentrado, se realizaría a continuación un ajuste de la diferencia en un nutriente (EM o PB) y la MS, con los dos alimentos disponibles para ello (miel, leucaena), que es lo permisible con PS. La diferencia obtenida demuestra que aún faltan 51.18 MJ de EM y 399 g de PB por garantizar al animal, en un máximo de 5.245 kg de MS, que es lo que resta del CMS. Son entonces estos tres valores la necesidad a ajustar.

A preferencia de quién formula la ración, se pudiera restar escoger entre la EM o la PB para aplicar Pearson. Pero las necesidades (51.18 MJ y 399 g) se expresan en unidades diferentes a los aportes de EM (MJ/kg) y PB (%) de los alimentos (tabla 1), y es aquí donde emerge una gran diferencia de la aplicación del método en las raciones para rumiantes con respecto a su uso para formular mezclas industriales, lo que se resuelve mediante la transformación de las necesidades de unidades de cantidad a densidad en la MS restante (5.245 kg). Se cumple así con una de las exigencias para poder aplicar el cuadrado.

Table 3. Partial contributions of star grass and concentrated

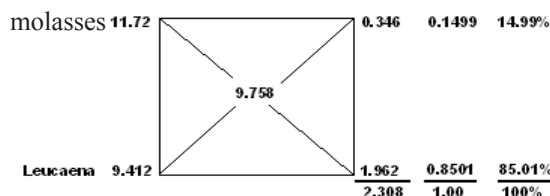
Feeds	Amount (kg)	DM (kg)	ME (MJ)	CP (g)
Star grass	24.25	6.500	58.74	715
Concentrated preparation	1.516	1.305	14.08	220
Partial contribution	25.77	7.805	72.82	935
Requirements		13.05	124.0	1334
Difference		5.245	51.18	399

This calculation should be performed to know if the two feeds chosen to complete the difference (molasses and leucaena) meet the condition that one possesses higher density than necessity, and the other is lower (table 1), for the nutrient to be adjusted using the square or, what is the same, available feed that could be selected in case of having several of them. In addition, it is also useful for expressing the EM and PB of the square, and the needs in the same units, as required by the method.

Molasses and leucaena meet this requirement for both nutrients. Therefore, PS can be used to adjust the remaining ME or CP to complete the ration.

For feeding ruminants, the most logical aspect is to adjust ME because this is the nutrient that regulates the DMI (NRC 1987, Minson 1990 and Illius and Jessop 1996).

The ME of ration should be adjusted as follows:



Este cálculo se ha de realizar para saber si los dos alimentos escogidos para completar la diferencia (miel y leucaena) cumplen con la condición de que uno posea densidad superior a la necesidad y en el otro, sea inferior (tabla 1) para el nutriente a ajustar mediante el cuadrado o, lo que es lo mismo, de los alimentos disponibles cuáles se pueden seleccionar en caso de disponer de varios. Además, también es útil para expresar la EM y la PB del cuadro y de las necesidades en las mismas unidades, como lo exige el método.

La miel y la leucaena cumplen con este requisito para ambos nutrientes. Por tanto, se puede emplear PS para ajustar la EM o la PB que resta por completar de la ración.

Para la alimentación de rumiantes, lo más lógico es que ajuste la EM, pues es el nutriente que más regula el CMS (NRC 1987, Minson 1990 y Illius y Jessop 1996).

Si se desea ajustar la EM de la ración, se plantearía:

With this proportions, the remaining ME (9.758 MJ/kg or 51.18 MJ) should be adjusted, as it appears when the amounts DM of each feed are calculated, according to the previous proportions and later, the contributions of this nutrient. From the total amount of DM (5.245 kg), 0.786 kg came from molasses and 4.459 kg from leucaena.

Finally, the ME of the ration is adjusted with the two selected feeds for it, and the total ration is composed by 24.25 kg of star grass, 1.516 kg of concentrated, 14.86 kg of leucaena foliage and 1.064 kg sugar cane molasses (table 4).

During the historical evolution of ration formulation, it is known that, up to 1987, the original reference to PS has not been found, which name, according to Benson Institute (2005), comes from the author. However, important authors are cited, who referred its use since 1961 (Trujillo-Figueroa 1987), but, in 1948, the square method was used to mix dairy products up to the desired percentage of fat (Morrison 1948). Kellem and Church (1998), Jurgen and Bregendhal (2007) and Chiba (2014) also recognize the use of this method for this purpose. This way it was confirmed that, dates after 1961, the "last name" of Pearson could be added to this method.

There are reports about the existence of a former method, which is identical to the PS, called Cobenze Diagram, used for producing sugar since the end of 1800's. To this end, it is used in the sugar cane factory because of the need to obtain a molasses, with certain purity, from two molasses of different purity, according to the findings of Spencer and Meade (1917), which is the eighth edition of the original text, edited for the first time in 1889 (it was also cited later in Spencer 1918, Meade 1963 and Clark and García-López 1963), and it is currently used (Domínguez 2001 and García *et al.* 2014).

Regarding the mathematical bases of the two methods, Trujillo-Figueroa (1987) stated that there were no answers regarding the procedures of the method, and needed to make his own approach, which could be or not in correspondence with those considered by Pearson. Before the questioning of why the differences are noted in the opposite corner or why they are added, this author proposes an explanation through the construction, in a coordinate axis, of a triangle that encloses the solution.

It is also true that if they are included in a numerical axis, as fragments, the values involved in the initial statement of PS, considering, as an example, the need of fitting (N) 9.758 MJ/kg DM with leucaena (A), with a concentration of 9.412 MJ/kg DM (C_A) plus molasses (B) of 11.72 MJ/kg DM (C_B), the origin of the method could be deduced:

Con estas proporciones ha de quedar ajustada la EM restante (9.758 MJ/kg ó 51.18 MJ), como se observa cuando se calculan las cantidades de MS de cada alimento, según las proporciones anteriores y luego, los aportes de este nutriente. De la cantidad de MS total (5.245 kg) 0.786 serían de miel y el resto, de leucaena, o sea 4.459 kg.

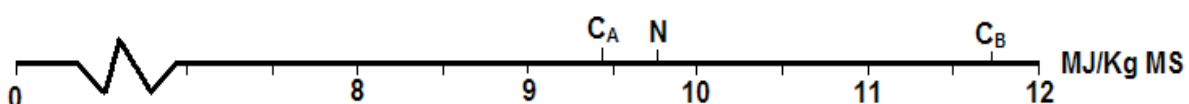
Finalmente, la EM de la ración queda ajustada con los dos alimentos seleccionados para ello, y la ración total formada por 24.25 kg de pasto estrella, 1.516 kg de concentrado, 14.86 kg de follaje de leucaena y 1.064 kg de miel de caña (tabla 4).

En la evolución histórica de la formulación de raciones se reconoce que a la altura de 1987 no se había encontrado la fuente bibliográfica original de PS, cuyo nombre según el Instituto Benson (2005) se debe al autor. Sin embargo, se citaban a importantes autores que referían su utilización desde 1961 (Trujillo-Figueroa 1987), mas en 1948 se usaba el llamado método del cuadrado o cuadro (square) para mezclar productos lácteos hasta el por ciento de grasa deseado (Morrison 1948), que lo reconocen también para ese fin Kellem y Church (1998), Jurgen Bregendhal (2007) y Chiba (2014). Se corroboró así que en fechas posteriores a 1961 es que se le ha de haber adicionado el "apellido" de Pearson a este método.

Sucede también que con mucha más antigüedad se informa la existencia de un método idéntico denominado Diagrama de Cobenze o Cruz de Cobenze que se emplea en la fabricación de azúcar de caña desde finales de los años 1800. Para ese fin se usa en los tachos de los centrales azucareros ante la necesidad de obtener una melaza con determinada pureza a partir de dos melazas de purzas diferentes de acuerdo a lo encontrado en el texto de Spencer y Meade (1917) que es la octava edición del original editado por primera vez en 1889, (también se cita posteriormente en Spencer 1918, Meade 1963 y Clark y García-López 1963), y que se usa hasta la actualidad (Domínguez 2001 y García *et al.* 2014).

Acerca del basamento matemático de los dos métodos, Trujillo-Figueroa (1987) asegura que no había encontrado respuestas en cuanto al proceder del método, y que se ha visto en la necesidad de hacer su propio planteamiento, que puede o no corresponder a los considerados por Pearson. Ante el cuestionamiento del porqué las diferencias se anotan en el vértice opuesto o porqué se suman, propone una explicación mediante la construcción, en un eje de coordenadas, de un triángulo que encierra la solución.

También es cierto que si se grafican en un eje numérico, a manera de segmentos, los valores involucrados en el planteamiento inicial de PS, tomando como ejemplo el ajuste la necesidad (N) de 9.758 MJ/kg MS con la leucaena (A) de una concentración de 9.412 MJ/kg MS (C_A) más miel (B) de 11.72 MJ/kg MS (C_B), se puede deducir el origen del método, véase:



This representation also shows the need of a feed to contain a concentration of the nutrient under the level of necessity, and another over it. The value of N may range between C_A and C_B , without affecting the solution of the problem. However, if the need to fit is inferior to C_A or superior to C_B , there will be no possible solution.

Taking into account the calculations of A and B proportions, expressed in percentage, the following can be stated:

$$1. A = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times 100 \text{ and } B = \frac{d_2}{d_1 + d_2} \times 100$$

Demonstration:

From the nature of the problem, two equations can be stated

$$2. \frac{C_A}{100} \times A + \frac{C_B}{100} \times B = N \text{ (I)}$$

$$3. A + B = 100 \text{ (II)}$$

After multiplying (I) by 100, the result is:

$$4. C_A A + C_B B = 100 N$$

$$5. A + B = 100$$

After multiplying (I) by, the result is:

$$6. \frac{-C_A}{C_B} A - B = \frac{-100}{C_B} N$$

$$A + B = 100$$

If both equations are

summed:

$$A - \frac{C_A}{C_B} A + B - B = 100 - \frac{100}{C_B} N \text{ (III), B are removed}$$

Multiplying (III) by C_B , the result is:

$$8. C_B A - C_A A = C_B 100 - 100N$$

The common factor in both sides is determined:

$$9. A (C_B - C_A) = 100 (C_B - N)$$

$$10. A = \frac{C_B - N}{C_B - C_A} 100$$

Knowing that $C_B - N = d_1$ and that $C_B - C_A = d_1 + d_2$, then:

$$11. A = \frac{d_1}{d_1 + d_2} 100$$

This way, it was demonstrated that the original mathematic source of the ideas of Pearson square, or of the cited Cobenze Diagram, and that the square simply emerge as didactic resources to solve problems of this type in a mechanical way, without many mathematical abstractions.

Considering all the previous explanations on the functioning and mathematical basement of PS, as a mathematical method for adjusting rations for ruminants, the interpretation of the meaning of the two equations is interpreted and the information on the square is used, which, as an example, has been stated previously to adjust ME. Then, the following equation may be stated:

$$\begin{array}{rcl} 11.72 M + 9.412 L = 9.758 & & 1 \\ M + L = 1 & & 2 \end{array}$$

Then:

$$L = 1 - M$$

Esta representación también muestra la necesidad de que un alimento contenga concentración del nutriente por debajo de la necesidad, y otro por encima. El valor N puede fluctuar entre C_A y C_B , sin que se afecte la solución del problema. Sin embargo, si la necesidad a ajustar es inferior a C_A o superior a C_B , no habrá jamás solución posible.

Si se toman los cálculos de las proporciones en que estarían A y B, expresadas en porcentaje, se puede plantear que:

$$1. A = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \times 100 \text{ y } B = \frac{d_2}{d_1 + d_2} \times 100$$

Demostración:

De la naturaleza del problema se pueden plantear dos ecuaciones:

$$2. \frac{C_A}{100} \times A + \frac{C_B}{100} \times B = N \text{ (I)}$$

$$3. A + B = 100 \text{ (II)}$$

Al multiplicar (I) por 100, resulta:

$$4. C_A A + C_B B = 100 N$$

$$5. A + B = 100$$

Al multiplicar (I) por, resulta:

$$6. \frac{-C_A}{C_B} A - B = \frac{-100}{C_B} N$$

$$A + B = 100$$

Si se suman ambas ecuaciones:

$$A - \frac{C_A}{C_B} A + B - B = 100 - \frac{100}{C_B} N \text{ (III), se eliminan las B}$$

Se multiplica (III) por C_B , resulta:

$$8. C_B A - C_A A = C_B 100 - 100N$$

Se determina el factor común en ambos lados:

$$9. A (C_B - C_A) = 100 (C_B - N)$$

$$10. A = \frac{C_B - N}{C_B - C_A} 100$$

Sabiendo que $C_B - N = d_1$ y que $C_B - C_A = d_1 + d_2$, entonces:

$$11. A = \frac{d_1}{d_1 + d_2} 100$$

Queda así igualmente demostrada la fuente matemática originaria de las ideas del cuadro de Pearson, o del citado Diagrama de Cobenze, y que el cuadrado (o la cruz) emergen, simplemente, como recursos didácticos para resolver problemas de ese tipo de manera mecánica, sin muchas abstracciones matemáticas.

Si se consideran todas las explicaciones anteriores acerca del funcionamiento y el basamento matemático de PS, como método matemático de ajuste de raciones para rumiantes, se interpreta el significado de las dos ecuaciones y se utiliza la información del cuadrado que, a manera de ejemplo, se había planteado más arriba para ajustar la EM, se puede plantear que:

$$\begin{array}{rcl} 11.72 M + 9.412 L = 9.758 & & 1 \\ M + L = 1 & & 2 \end{array}$$

Entonces:

$$L = 1 - M$$

1 is substituted in,

$$11.72 M + 9.412 (1 - M) = 9.758 \quad (R)$$

$$11.72 M + 9.412 - 9.412 M = 9.758$$

$$2.308 M = 9.758 - 9.412$$

$$2.308 M = 0.356$$

$$M = \frac{0.356}{2.308} = 0.1499, \text{ so } L = 0.8501$$

It is confirmed that the same proportions of Pearson are obtained. However, the most important practical recommendation is to establish directly this equation (R), because it allows to avoid all the Pearson procedure. In addition, it is more professional for those with superior levels of instruction.

This equation, which puts the calculation of the two in function of a single variable, can be stated directly, since it is known that the amount of the second feed is always the sum of both minus the first one. Then it can also be stated as “ $11.72 (1 - L) + 9.412 L = 9.412 L$ ”, which allows to calculate the amount of L instead of M.

It is faster if an equation (R)* is stated, which works with the need expressed in quantity, because it is possible to obtain directly the amount of DM of both feeds to fit the desired nutrient, which is faster and advantageous for reaching the same final results reported in table 4.

Table 3 shows the need to adjust, in 5.245 kg DM, the 51.18 MJ remaining to complete with molasses (M) and leucaena (L).

$$11.72 M + 9.412 (5.245 - M) = 51.18 \quad (R)^*$$

$$11.72 M + 49.37 - 9.412 M = 51.18$$

$$2.308 M = 51.18 - 49.366$$

$$2.308 M = 1.814$$

$$M = \frac{1.814}{2.308} = 0.786 \text{ kg DM; then, } L = 5.245 - 0.786 = 4.459 \text{ kg DM}$$

A similar result to that of table 3 is obtained when stating “ $11.72 (5.245 - L) + 9.412 L = 51.18$ ”.

Y se sustituye en 1,

$$11.72 M + 9.412 (1 - M) = 9.758 \quad (R)$$

$$11.72 M + 9.412 - 9.412 M = 9.758$$

$$2.308 M = 9.758 - 9.412$$

$$2.308 M = 0.356$$

$$M = \frac{0.356}{2.308} = 0.1499, \text{ por lo que } L = 0.8501$$

Se constata que se obtienen las mismas proporciones que con Pearson. Sin embargo, la recomendación práctica más importante que surge es la de plantear directamente esta ecuación (R), ya que permite evitar todo el procedimiento de Pearson. Además, es más profesional para aquellos que cuentan con niveles superiores de instrucción.

Esta ecuación, que pone en función de una sola variable el cálculo de las dos, se puede plantear directamente, pues se conoce que la cantidad del segundo alimento es siempre la suma de los dos menos la del primero. Entonces también se puede plantear “ $11.72 (1 - L) + 9.412 L = 9.758$ ”, que permite calcular la cantidad de L en lugar de M.

Más rápido resulta si se plantea una ecuación (R)*, en la que se trabaje con la necesidad expresada en cantidad, pues se logra obtener directamente la cantidad de MS de los dos alimentos para ajustar el nutriente deseado, lo que es mucho más rápido y ventajoso para llegar a los mismos resultados finales que se exponen en la tabla 4.

La tabla 3 muestra la necesidad de ajustar en 5.245 kg MS los 51.18 MJ que restan por completar con miel (M) y leucaena (L).

$$11.72 M + 9.412 (5.245 - M) = 51.18 \quad (R)^*$$

$$11.72 M + 49.37 - 9.412 M = 51.18$$

$$2.308 M = 51.18 - 49.366$$

$$2.308 M = 1.814$$

$$M = \frac{1.814}{2.308} = 0.786 \text{ kg MS; entonces, } L = 5.245 - 0.786 = 4.459 \text{ kg MS}$$

Igual resultado al referido en la tabla 3 se obtiene si se plantea “ $11.72 (5.245 - L) + 9.412 L = 51.18$ ”.

Table 4. Expression of the difference in amount and density units

	DM (kg)	ME (MJ)	CP (g)
Difference (amount)	5.245	51.18	399.0
Difference (DM density)		(MJ/Kg) 9.758	(%) 7.607

Table 5. Final balance of ration with adjusted ME.

Feeds	Amount (kg)	DM (kg)	ME (MJ)	CP (g)
Star grass	24.25	6.500	58.74	715
Concentrated preparation	1.516	1.305	14.08	220
Leucaena	14.86	4.459	41.97	891.8
Molasses	1.064	0.786	9.21	44.02
Total		13.05	124.0	1995
Requirements		13.05	124.0	1334
Balance		0.00	0.00	+ 661

It can be concluded that PS is a method for formulating rations, which could have come from a similar method used in the sugar and/or dairy industry, exact to its mathematical basement, which can be adapted to ruminant rations expressed in quantity, but it can be replaced due to the highest speed and professionalism, simple equation (as those cited (R)* and (R)*) and obtain the same results.

In any of the previous cases, there is an inflexibility of the procedures of the methods, which limits them, and may give unacceptable amounts of feeds, from zoo-technical, economical and nutritional points of view.

This paper may help to increase the culture of professional ethics, precision, and creativity among those in charge of formulating rations for animals.

Se concluye que PS es un método para formular raciones, que puede haber derivado de un método similar usado en la industria azucarera y/o láctea, exacto por su basamento matemático, que puede adaptarse para las raciones de rumiantes expresadas en cantidad, pero que es sustituible, por la mayor rapidez y profesionalidad, ecuaciones simples (como las citadas (R)* y (R)*) y obtener los mismos resultados.

En cualquiera de los casos anteriores existe como limitante de los métodos la inflexibilidad de su proceder que puede arrojar cantidades de alimentos no aceptables desde otros puntos de vistas como los zootécnicos, económicos y nutricionales.

Sirva este artículo para elevar la cultura de la creatividad, la precisión y la ética profesionales entre los encargados de formular raciones para animales.

References

- Afolayan M.O. & Afolayan M. 2008. Nigeria oriented poultry feed formulation software requirements. *Journal of Applied Science Research*. 4 (11). 1596.
- Chiba L.I. 2014. Diet Formulation & Feed Ingredients. In: *Animal Nutrition Handbook: Section 18: Diet Formulation and Common Feed Ingredients*. 2nd. ed. CRC Press, Boca Raton. USA: 575-633.
- Clark J.A. & García-López F. 1963. Empleo de la Cruz de Cobenze en los cálculos sobre mezclas de distintas purezas. In: *El proceso de fabricación de azúcar crudo en los tachos*. Ed. Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro. La Habana. Cuba. p. 263
- Corbin J. & Strauss A. 2008. *Basics of qualitative research*. 3rd ed. Thousand Oaks, CA. USA. p. 25
- Denzin N. K. & Lincoln Y. S. 2005. *The Sage handbook of qualitative research*. 3rd ed. Ed. Thousand Oaks, CA. USA. p. 1
- Domínguez F. J. 2001. Modelación, Simulación y Optimización del Proceso de Transferencia de Masa que ocurre en la cristalización de azúcar por enfriamiento a nivel industrial. PhD Thesis. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
- García Y., López Y. & Benítez A. 2014. Optimización del sistema energético de un central azucarero para maximizar el excedente de bagazo. *Rev Avanzada Científica*. Enero – abril. 17(1).
- García-Trujillo R. & Cáceres O. 1984. Nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los alimentos y el requerimiento y racionamiento de los rumiantes. EEPF "Indio Hatuey", Matanzas. Cuba. Ed. CEDICA. 44 p.
- Hernández-Sampier R. 2003. Metodología de la investigación. Volumes 1 and 2. Ed. Félix Varela. La Habana. Cuba.
- Illius A.W. & Jessop N.S. 1996. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. *J Anim Sci*. 74:3052.
- Instituto Benson. 2005. Formulación de raciones. Available on: <http://benson.byu.edu/Publication/Lessons/Spanish/Lessons/Animal/Raciones.htm>. Consulted December 12th, 2005.
- Jurgens, M.H., & Bregendahl K. 2007. *Animal feeding and nutrition*. 10th ed. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, IA. USA. p. 62.
- Kellems, R.O. & Church D.C. 1998. *Livestock feeds and feeding*. 4th ed. Prentice_Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ. USA. p. 35.
- Lanzas C, Broderick G.A. & Fox D.G. 2008. Improved feed protein fractionation schemes for formulating rations with the Cornell net carbohydrate and protein system. *J Dairy Sci*. 91: 4881.
- Meade G.P. 1963. *Spencer-Meade Manual de fabricación de azúcar de caña y químicos especializados*. Traducido por Mario García Menocal. Ed. Montaner y Simón, S.A. Barcelona. España. 769-771.
- Minson J.D. 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Edit. Academic Press. San Diego. CA. USA. p. 34.
- Morrison F.B. 1948. *Feeds and Feeding: A handbook for the student and stockman*. 21th Edition. The Morrison Publishing Company. Itahaca. NY. USA. p. 238
- NRC. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. Subcommittee on Feed Intake, Committee on Animal Nutrition, National Research Council. USA. Available on: www.nap.edu/catalog/950.html. Consulted December 12th, 2012.
- NRC. 2005. Mathematics and 21st Century Biology. Committee on Mathematical Sciences Research for DOE's Computational Biology. USA. Available on: <http://www.nap.edu/catalog/11315.html>. Consulted December 12th, 2012.
- Omidiora E.O., Adegoke B.O. & Aderounmu G.A. 2013. Review of livestock formulation techniques. *Journal of Biology, Agriculture and Helathcare*. 3(4): 69.
- Spencer G.L. 1918. *Manual de fabricación de azúcar de caña y químicos azucareros*. Séptima edición, revisada y ampliada por George Meade. New York. John Willey & Sons, Inc. p. 445
- Spencer G.L. & Meade G.P. 1917. *Cane sugar handbook. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists*. Eight Edition revised, rewritten and enlarged. New York. John Willey & Sons, Inc. p. 638
- Trujillo-Figueroa V. 1987. *Métodos matemáticos en la nutrición animal*. Ed. McGraw-Hill. 240 pp.

Van Amburgh M.E., Overton T.R., Chase L.E., Ross D.A., & Recktenwald E.B. 2009. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: current and future approaches for balancing of amino acids. Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. 71st Meeting. October 20–22. East Syracuse, New York. USA. p.28

Received: January 1, 2015