

# Enfoque metodológico para cuantificar los efectos cognitivos en el análisis sensorial de alimentos

A methodological approach to quantify the cognitive effects in sensorial analysis of food

Moronte, Ellen Cristina (1), Huet, Ana Livia (1), de Sousa Silva, Ana Carolina (1), Vieira Piza, Luciana (1), Marinho Muraro, Marcela (1), Céspedes Arce, Aldo Ivan (1), Bruno Tech, Adriano Rogério (1), Von Atzingen, Gustavo Voltani (2), Xavier Costa, Ernane (1)

(1) Laboratório de Física Aplicada e Computacional, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo - (2) Instituto Federal de São Paulo.

Contacto: ernane@usp.br

RECIBIDO: 25/2/2016 - APROBADO: 14/7/2016

## Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo formular un modelo de análisis sensorial que permita cuantificar la acción del estímulo gustativo en el contexto cognitivo a partir de la actividad eléctrica cerebral. Los experimentos fueron realizados en dos etapas: (a) Determinación del umbral de percepción del sabor e (b) investigación de la percepción de sabor bajo el umbral de la actividad consciente, utilizando electroencefalograma (EEG). El procesamiento digital de señales en los voluntarios fue realizado por medio del análisis tiempo-frecuencia por el método AGR (Adaptative Gaussian Representation). Este método evalúa cómo la información de la señal evoluciona en el espacio tiempo-frecuencia usando coeficientes representativos de este espacio. Se pudo verificar que el 3<sup>er</sup> coeficiente de AGR se destacó por el ruido y por tanto representó mejor los resultados del EEG. Así fue posible verificar que el coeficiente presentó separación lineal de la concentración de sacarosa, es decir, se detectó en el comportamiento tiempo-frecuencia del EEG la separación entre las concentraciones de sacarosa, independientemente de la manifestación del sujeto experimental. Esos resultados sugieren que la metodología descrita en este artículo puede ser utilizada como una herramienta complementaria al análisis sensorial.

**Palabras clave:** Electroencefalograma (EEG), predilección alimentaria, estímulos gustativos.

## Abstract

This work aims to propose a sensorial analysis method that allows quantitative evaluation of taste stimuli within a cognitive context using electroencephalogram monitoring. The experiment was conducted in two steps: (a) Determination of flavor perception threshold and (b) investigation of the flavor perception below conscious threshold using electroencephalogram (EEG). The volunteer's digital signal processing was performed using time-frequency analysis by the AGR method. This method evaluates the signal behavior in the time-frequency framework by means of representative coefficients. It could be verified that the 3<sup>rd</sup> AGR representative coefficient was noiseless and then EEG information was better characterized. Thus it was possible to verify that the coefficient provided linear separation of sucrose concentration, therefore, was able to represent the EEG behavior in the time-frequency framework by separating sucrose concentrations independent of subject response. These results suggest that the methodology described in this article can be used as a tool to complement the sensory analysis.

**Keywords:** Electroencephalogram (EEG), Food Choice, Taste Stimuli.

## Introducción

La creciente preocupación por mantener hábitos saludables y una alimentación adecuada ha promovido avances en las ciencias de los alimentos, así como en las relaciones entre estas y el hombre.

Puesto que el análisis sensorial es la base del estudio y evolución de esa relación, se hace necesario destacar la

importancia de medir, analizar e interpretar las reacciones del ser humano frente a las características de los alimentos mediante el estudio de la percepción de sus cinco sentidos. Esto hace que resulte importante establecer modelos que permitan relacionar la actividad cerebral con estímulos gustativos (Kobayakawa, et al., 1996).

En las últimas décadas, el análisis sensorial ha sido estudiado no solo en base a la interacción del hombre con los alimentos, sino también por la comprensión de los factores subjetivos y emocionales que influyen en los consumidores. Es entonces cada vez mayor el número de investigaciones que incluyen el estado de ánimo como factor determinante en la predilección por los alimentos (Okamoto y Dan, 2007).

Esa influencia, que motiva la elección de los análisis sensoriales, amplía los estudios en el área de las ciencias psicológicas y ciencias de los alimentos (Larsson y Larsson, 1997), buscando así entender las bases neurocognitivas y analíticas del funcionamiento cerebral. Es posible afirmar que el procesamiento de sensaciones y percepciones ocurre continuamente, lo que se torna muchas veces en una interpretación no perceptible de nuestra consciencia.

El umbral para la percepción consciente de los estímulos derivados del medio no depende únicamente de la intensidad de los mismos, sino también del estado psicológico del individuo en el momento de la interacción (Myers, 1999). Todos esos aspectos del cerebro humano son difíciles de investigar debido a su gran complejidad. En ese sentido, el EEG es muy utilizado para auxiliar el monitoreo de eventos cerebrales con el fin de conocer su estructura y función. Además, permite la asociación de un comportamiento clínico o experimentalmente observado, no solo con una presunta correlatividad mental sino también con marcadores específicos de la actividad cerebral observada.

Con el avance de los sistemas informáticos, el establecimiento de conexiones entre el conocimiento funcional del cerebro y las técnicas avanzadas de procesamiento digital de señales (PDS) es posible establecer una interacción entre el cerebro y los sistemas informáticos (Hashida, et al., 2005).

Todo ello motivó la ejecución de este trabajo que tiene como objetivo general utilizar la actividad eléctrica cerebral como un canal de comunicación entre el cerebro y el sistema informático a partir del cual estudiar los diversos eventos de estímulo-respuesta que pueden ser usados en el análisis de las señales de EEG durante la estimulación gustativa.

El objetivo específico de este trabajo es demostrar que el EEG responde a una concentración de azúcar por debajo del umbral de percepción consciente utilizando el método AGR.

## Materiales y Métodos

Esta investigación fue realizada en el Laboratorio de Física Aplicada y Computacional (LAFAC) de la Universidad de São Paulo (USP), Campus de Pirassununga, en el periodo de mayo de 2011 a mayo de 2013. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de investigación de la EERP (Escuela de Enfermería de Ribeirão Preto)/USP en 2008 (Protocolo n° 0958/2008). Los experimentos fueron realizados en tres sesiones, cada sesión en dos etapas: (1) Determinación del umbral de percepción consciente de sabor e (2) investigación de la percepción del sabor por debajo del umbral consciente, utilizando EEG. La Figura 1 presenta la visión general del experimento.

### Determinación del umbral de percepción consciente del sabor dulce

Los voluntarios fueron escogidos entre los estudiantes del campus. Esta primera etapa fue realizada con un grupo de 23 voluntarios (13 de sexo femenino y 10 de sexo masculino), con

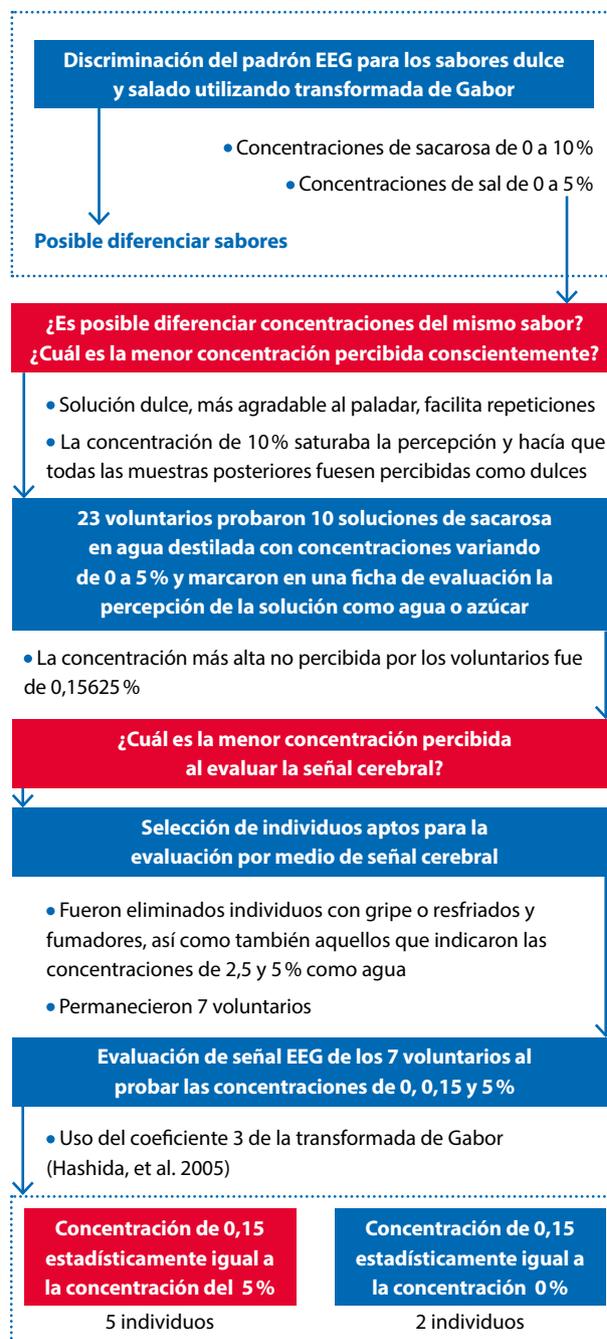


Figura 1. Visión general del experimento.

edades comprendidas entre los 19 y los 24 años. Puesto que lo importante es el número de repeticiones por cada sujeto, el número de voluntarios se puede considerar suficiente, ya que el EEG es específico para cada uno de ellos. Todos los sujetos firmaron un término de consentimiento libre y respondieron un cuestionario sobre su estado general de salud y preferencias alimentarias. Todos eran no fumadores.

Los voluntarios realizaron degustaciones de nueve muestras de sabor dulce con diferentes concentraciones de sacarosa (0,15625%; 0,3125%; 0,625%; 1,25%; 2,5%; 5% y tres muestras a 0%). Las soluciones de sacarosa de 0,15625% a 1,25% fueron preparadas con agua destilada, de acuerdo con una serie recomendada por la ISO 3972 (2011). Las concentraciones de 2,5% y 5% fueron previamente definidas por los experimentos

de Hashida (2005). Todas las muestras fueron preparadas con 24 horas de antelación y acondicionadas en recipientes de plástico claramente identificados.

Después de degustar cada muestra, los voluntarios anotaron en una hoja de registro si detectaron el sabor dulce en cada una de las soluciones (Tabla 1).

Muestra	Agua	Azúcar
A1432	X	
A2057		X
A7018	X	
A9664	X	
A8221	X	
A2453		X
A6770	X	
A9142		X
A9797		X
A4117		X

**Tabla 1.** Ficha de evaluación presentada por los voluntarios durante la degustación de las soluciones de sacarosa en agua destilada con concentraciones de 0 a 5%. Las marcas indican cómo clasificó la muestra cada voluntario y los códigos son números aleatorios.

Para evaluar la sensibilidad gustativa de los voluntarios fue utilizado un test de límite. En el test, series crecientes y decrecientes de concentraciones fueron presentadas a los voluntarios para determinar el umbral de percepción. El umbral de cada voluntario fue definido mediante la media geométrica de concentración más alta no detectada y la concentración siguiente.

Esta etapa permitió determinar la menor concentración de sacarosa que los voluntarios fueron capaces de percibir.

De ese grupo fueron escogidos para la próxima etapa los voluntarios que no cometieron errores muy discrepantes, es decir, aquellos que no percibieron conscientemente la diferencia entre las concentraciones de 5% y 2,5%.

### Investigación de percepción de sabor debajo del umbral consciente

En esta etapa fueron registradas las señales cerebrales de siete voluntarios (cinco mujeres y dos hombres) al mismo tiempo, probando 27 muestras de sabor dulce (solución de sacarosa en agua destilada), nueve de ellas a 0% (solo agua), nueve con 0,15% de sacarosa y nueve con 5,0% de sacarosa (concentración máxima). Después del registro de los datos de EEG, los voluntarios no completaron los correspondientes cuestionarios sobre la prueba, ya que en esta parte solo fue necesario evaluar la respuesta cerebral. Las señales fueron adquiridas dentro de una jaula de Faraday, de 2,5 x 2,5 x 2,5 m de tamaño, aplicando la metodología desarrollada por Costa y Cabral (2000). La señal fue muestreada a una frecuencia de 120Hz y cuantificada con 12 bits. Los voluntarios fueron

ubicados en una silla común y los electrodos fueron fijados en la superficie de su cuero cabelludo en las posiciones C3 y C4 (el electrodo de referencia fue ubicado en la oreja), según el sistema 10-20 (Jasper, 1958), utilizando un casco diseñado para esta finalidad. Fueron usados electrodos de cloruro de plata, bañados en oro, con 1,0 mm de diámetro. Fue aplicado también gel electrolítico en la superficie de los electrodos para mejorar su conducción.

Las señales registradas fueron procesadas mediante la herramienta Matlab® usando trechos de señal libres de artefactos con duración de 5 seg. Para cada trecho fueron obtenidos: (a) La densidad espectral de potencia, estimada por el método de Welch, que permite identificar las principales frecuencias presentes en la señal y (b) la representación gaussiana adaptativa, propuesta por Mallat y Zhang (1993) y Qian y Chen (1994). Esta metodología de análisis de señales consiste en analizar las informaciones en el dominio tiempo-frecuencia por medio de los ajustes de las funciones gaussianas elementales  $h_p(t)$  que representan mejor la señal muestreada (Hashida, et al., 2005). Este ajuste permite localizar la información en el EEG concomitantemente en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

Por tanto, este ajuste fue realizado usando los coeficientes de proyección  $B_p$ , calculados por medio de las funciones gaussianas que representan mejor la relación entre la señal  $s(t)$  adquirida, con sus respectivas funciones gaussianas  $h_p(t)$ . Los coeficientes calculados ( $B_p$ ) permiten extraer informaciones de las señales de EEG registradas en los voluntarios y analizar posibles variaciones de comportamiento de la señal en relación al tiempo y la frecuencia (Maruyama, et al., 2008; Hashida, et al., 2005).

## Resultados

### Determinación del umbral de percepción de sabor dulce

Las respuestas registradas de los voluntarios indicaron que la mayor dilución no percibida, dentro de la serie geométrica, fue la que contenía 0,15625% de sacarosa, esto es, una dilución menor, lo que definió el umbral mínimo de percepción para los participantes del experimento. No se realizó ningún ensayo estadístico para evaluar el umbral de grupo, pues era necesario saber el valor de la serie no perceptible del 100% de los voluntarios.

Los voluntarios que no fueron capaces de detectar la sacarosa en concentraciones superiores a 2,5% no pasaron a la siguiente etapa, por lo que finalmente fueron escogidos cinco mujeres y dos hombres.

### Investigación de percepción del sabor por debajo del umbral consciente

La Figura 2 muestra la media (nueve repeticiones) de la densidad espectral de potencia para cada una de las concentraciones evaluadas (0,00%; 0,15% y 5,00%) de uno de los voluntarios.

El comportamiento del gráfico de la Figura 2 fue repetido en los datos de los demás voluntarios, lo que reforzó la necesidad de utilizar otro método de procesamiento, en este caso una técnica que permita evaluar la señal obtenida en el dominio del tiempo y la frecuencia.

La Figura 3 muestra el gráfico del tercer coeficiente de AGR ( $B_3$ ), que fue el coeficiente que mejor clasificó las seña-

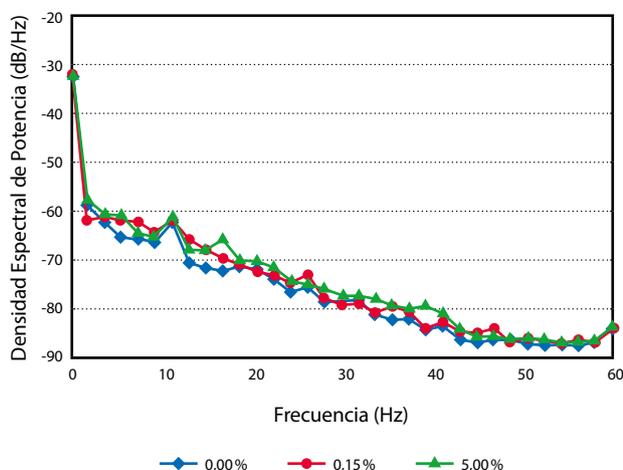


Figura 2. Media de las muestras de agua (0,0%), 0,15% y 5% de sacarosa, correspondientes a la voluntaria 1.

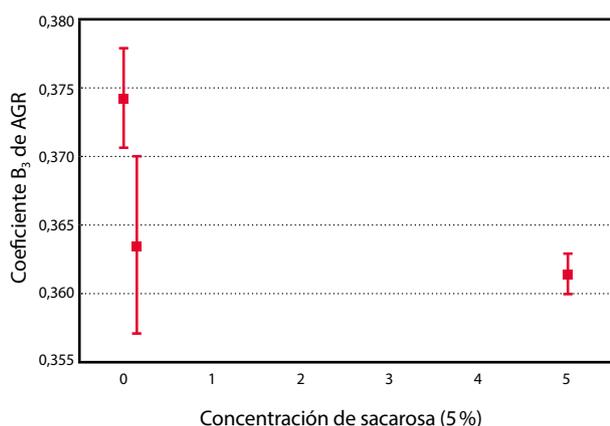


Figura 3. Valores referentes al coeficiente B<sub>3</sub> de AGR para la voluntaria 1.

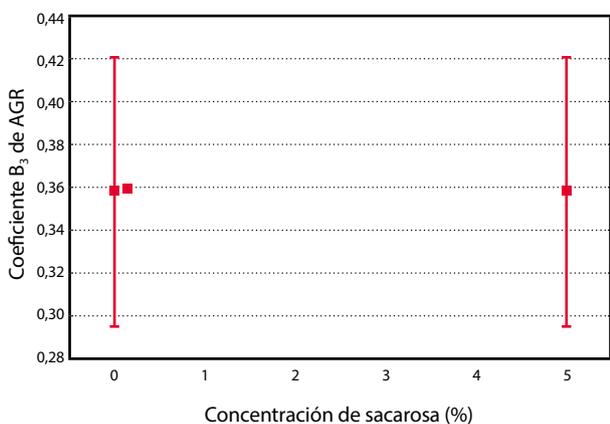


Figura 4. Valores referentes al coeficiente B<sub>3</sub> de AGR para la voluntaria 4.

les de la mayoría de los voluntarios y el cual corrobora los resultados obtenidos por Hashida et al. (2005).

La Figura 4 representa el mismo coeficiente B<sub>3</sub> para un voluntario que no presentó separación aparente.

En la Figura 5 es posible verificar que el comportamiento tiempo-frecuencia del EEG en el coeficiente número 3 no fue sensible a la diferencia de las soluciones, a pesar de que

la voluntaria percibió conscientemente la diferencia entre las soluciones de 0 y 5%. Aunque solo se trató de un único caso de todo el grupo de voluntarios, debe ser considerado, porque indica que el AGR puede no detectar ese patrón para algunos voluntarios y, por tanto, deben ser consideradas otras técnicas de procesamiento de señales de EEG.

Según los resultados del análisis del EEG utilizando AGR, de los siete voluntarios que probaron las muestras, cinco –cuatro mujeres y un hombre– presentaron separación en sus coeficientes. Esto significa que a pesar de que ellos no percibieron la dilución de 0,15625%, el patrón del EEG de esa dilución es el mismo que la dilución de 5%, o sea, el EEG responde al valor por debajo del umbral de la misma manera que responde al valor por encima del umbral, aunque el voluntario no haya percibido la dilución de forma consciente.

## Discusión y Conclusiones

Este trabajo presenta únicamente un estudio inicial y, por ende, no puede ser generalizado para un grupo. Fueron seleccionados siete voluntarios a partir de la etapa inicial (cinco del sexo femenino y dos del sexo masculino) para análisis de datos. Como la actividad eléctrica cerebral sigue un estándar individual de respuestas, el número de voluntarios para este tipo de experimento (que usa el EEG) puede ser reducido.

La metodología descrita en este artículo llevó a resultados que corroboran el modelo de Esteves (2010), que propone el encefalograma como parte del sistema de adquisición de informaciones, permitiendo la postulación de una metodología en la que el foco es el hombre y los procesos mentales que determinan la elección de los alimentos, conforme a lo propuesto por Furst et al. (1996).

Los resultados presentados en este trabajo indican que los datos del análisis sensorial pueden ser analizados con base en las respuestas obtenidas por medio de la comunicación (percepción consciente) del individuo, y en su dinámica cerebral (percepción inconsciente), mediante la evaluación de datos obtenidos del EEG. Esto permite analizar y correlacionar los diversos aspectos que envuelven el factor humano durante la alimentación a partir de un concepto menos subjetivo, ya que el EEG está directamente relacionado con la actividad eléctrica del cerebro, que es parte integrante de la dinámica cerebral.

Cabe destacar que las cuestiones subjetivas que surgen del análisis sensorial no pueden ser soportadas solamente con estos ensayos, pero lo significativo es presentar a la comunidad científica el EEG como una herramienta importante que puede ser considerada en los análisis sensoriales tradicionales.

## Reconocimientos

Agradecemos al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo: 311084/2013-3) por financiar este proyecto.

## Referencias

Costa, E.J.X. y Cabral, E., 2000. EEG-based discrimination between imagination of left and right hand movements

- using adaptive Gaussian representation. En: *Medical Engineering & Physics*, 22(5), pp.345-348.
- Esteves, E., 2010. Statistical analysis in food science. En: Cruz, Rui M.S., ed. *Practical food and research*. Cap.16. New York: Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-61761-057-8.
- Furst, T., Connors, M., Bissogni, C.A., Sobal, J. y Falk, L.W., 1996. Food choice: a conceptual model of the process. En: *Appetite*, 26(3), pp.247-66.
- Jasper, H. H., 1958. The ten-twenty electrode system of the international federation. En: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Limerick, 10(2), pp.371-375.
- Hashida, J.C., Silva, A.C.S., Souto, S. y Costa, E.J.X. , 2005. EEG pattern discrimination between salty and sweet taste using adaptive Gabor transform. En: *Neurocomputing*, 68, pp.251-257.
- International Organization for Standardization, 2011. ISO 3972: *Sensory analysis. Methodology. Method of investigation sensitivity of taste*. Ginebra: ISO.
- Kobayakawa, T., Endo, H., Ayabe-Kanamura, S., Kumagai, T., Yamaguchi, Y., Kikuchi, Y., Takeda, T., Saito, S. y Ogawa, H., 1996. The primary gustatory area in human cerebral cortex studied by magnetoencephalography. En: *Neuroscience Letter*, 212(3), pp.155-158.
- Larsson, M., Larsson, K., 1997. Neglected aspects of food flavor perception. En: *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 123-124, pp.651- 655.
- Mallat, S. y Zhang, Z., 1993. Matching pursuit with time-frequency dictionaries. En: *IEEE Trans Signal Processing*, 41(12), pp.3397-415.
- Maruyama, T.T., Arce, A.I.C., Ribeiro, L.P. y Costa, E.J.X., 2008. Time-frequency analysis of acoustic noise produced by breaking of crisp biscuits. En: *Journal of Food Engineering*, 86(1), pp.100-104.
- Myers, D.G., 1999. *Introdução à psicologia geral*. 5a ed. Rio de Janeiro: LTC. ISBN 85-216-1186-2.
- Okamoto, M. y Dan, I., 2007. Functional near-infrared spectroscopy for human brain mapping of taste-related cognitive functions. En: *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 103(3), pp.207-215.
- Qian, S. y Chen, D., 1994. Signal representation using adaptive normalized Gaussian functions. En: *Signal Processing*, 36, pp.1-11.