



## Optimización utilizando lógica difusa de dispositivo de análisis de componentes químicos de ingredientes naturales basados en el internet de las cosas IoT

### Optimization using diffuse logic of analysis device for chemical components of natural ingredients based on the internet of things IoT

### Otimização usando lógica fuzzy dispositivo de análise de ingredientes naturais componentes químicos baseados na internet das coisas internet das coisas IoT

Karen Vanessa Angulo-Sogamoso<sup>1</sup>

Danilo Gustavo Gil-Sierra<sup>2</sup>

Octavio José Salcedo-Parra<sup>3</sup>

**Recibido:** mayo de 2017

**Aceptado:** agosto de 2017

**Para citar este artículo:** Angulo-Sogamoso, K. V., Gil-Sierra, D. y Salcedo-Parra, O. J. (2017). Optimización utilizando lógica difusa de dispositivo de análisis de componentes químicos de ingredientes naturales basados en el internet de las cosas IoT. *Revista Científica*, 30 (3), 207-223. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.11586>

#### Resumen

En el presente artículo se presenta la optimización utilizando lógica difusa de un dispositivo conformado por una báscula con sensores integrados. Estos sensores permiten reconocer los alimentos y realizar un análisis químico, con el fin de identificar compuestos que pueden resultar nocivos para la salud de las personas. La báscula podrá ser conectada a través de bluetooth a cualquier aparato móvil, el cual, utilizando una aplicación programada con la técnica de lógica difusa, le permitirá al usuario una descripción de los componentes de cualquier alimento, además de sugerir otros ingredientes que le permitan seguir una dieta más saludable y balanceada. La metodología de desarrollo se divide en tres etapas: en la primera se determinan las características de la báscula, luego las características del sensor y por último el

desarrollo del aplicativo. La implementación del modelo está basada en la correlación de un sistema experto y de lógica difusa (Fuzzy Logic), en donde se establece un sistema de inferencia, considerando la elección de variables de entrada y el establecimiento de tres macros que tienen evaluaciones integradas (propias de Invima), que posteriormente permitirán calcular los niveles de toxicidad en los alimentos. Al mismo tiempo, y con el fin de probar y validar el modelo de tal modo que este entregue resultados consistentes, se comparan resultados obtenidos en otros estudios donde se puede evidenciar que el modelo planteado es más eficiente en un 7.57% con respecto a los demás puestos en consideración.

**Palabras clave:** báscula, sensores, dispositivo, IoT, aplicación móvil, conexión bluetooth, lógica difusa, dieta.

<sup>1</sup>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia. Contacto: [kvangulos@correo.udistrital.edu.co](mailto:kvangulos@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia. Contacto: [dggils@correo.udistrital.edu.co](mailto:dggils@correo.udistrital.edu.co)

<sup>3</sup>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia. Contacto: [osalcedo@udistrital.edu.co](mailto:osalcedo@udistrital.edu.co)

## Abstract

In the present article, the optimization is presented using diffuse logic of a device conformed by a scale with integrated sensors. These allow to identify the foods and to carry out a chemical analysis, in order to identify compounds that can be harmful to the health of the people. The bascule can be connected via bluetooth to any mobile device, which, using an application programmed with the fuzzy logic technique, will allow the user a description of the components of any food, besides suggesting other ingredients that allow him to follow a Healthier and more balanced diet. The development methodology is divided into three stages, the first determining the characteristics of the scale, then the characteristics of the sensor and finally the development of the application. The implementation of the model is based on the correlation of an Expert System and Fuzzy Logic, where an inference system is established, considering the choice of input variables and the establishment of three macros that have integrated evaluations (Invima), Which will later allow the calculation of levels of toxicity in food. At the same time, in order to test and validate the model, in order to provide consistent results, we compare results obtained in other studies, where it can be shown that the model presented is more efficient in 7.57% with respect to the others are taken into consideration.

**Keywords:** bascule, sensors, device, IoT, mobile app, bluetooth connection, fuzzy logic, diet.

## Resumo

Neste artigo, a otimização lógica fuzzy é apresentada usando um dispositivo que consiste de uma escala com sensores integrados. Que pode identificar alimentos e uma análise química, a fim de identificar compostos que podem ser prejudiciais para a saúde das pessoas. A balança pode ser conectado via Bluetooth para qualquer dispositivo móvel, que usa um programados utilizando a técnica de aplicação lógica fuzzy permitirá ao usuário uma descrição dos componentes de qualquer alimento, e sugerir outros ingredientes que lhe permitam seguir uma dieta saudável e equilibrada. A metodologia de desenvolvimento é dividida em três fases, o primeiro para determinar as características da escala,

em seguida, as características do sensor e, finalmente, o desenvolvimento da aplicação. A implementação do modelo é baseada na correlação de um sistema especialista e Fuzzy Logic (Lógica Fuzzy), onde um sistema de inferência são estabelecidos, considerando a escolha de variáveis de entrada e o estabelecimento de três macros que têm avaliações integradas (Invima), que posteriormente permitem calcular os níveis de toxicidade em alimentos. Ao mesmo tempo, a fim de testar e validar o modelo, de modo que ele oferece resultados consistentes e resultados obtidos em outros estudos, onde você pode mostrar que o modelo proposto é mais eficiente em 7.57% em relação ao comparar outras posições em consideração.

**Palavras-chaves:** balança, sensores, dispositivo, a Internet das coisas, a aplicação móvel, bluetooth, lógica fuzzy, dieta.

## Introducción

Hoy en día las personas están habituadas al consumo excesivo de alimentos sin tener en cuenta factores de gran importancia como los ingredientes o compuesto químicos, los cuales repercuten fuertemente en el organismo y generan enfermedades como la obesidad, la diabetes o la anemia.

Por tal motivo, el implementar una dieta saludable se ha vuelto un elemento importante en el diario de las personas. Sin embargo, no todos los ingredientes proporcionan una fuente de nutrientes suficiente para una dieta sana.

En consecuencia, se fabricó una superficie adaptable a cualquier cocina que permita establecer el valor nutricional (calorías, carbohidratos, grasas, peso, etc.) de los ingredientes que se pongan sobre ella. Además de recomendar tamaño de las porciones y agregar o quitar ingredientes de acuerdo a las configuraciones (de una persona o el grupo de personas que habitan en la casa) asignadas previamente en un aplicativo para dispositivo móvil.

Este dispositivo está en la capacidad de medir varios rastros de sustancias químicas, como pesticidas y ácidos, así como los antibióticos

comúnmente utilizados para tratar la carne, pollo y pescado y enviar los datos a una aplicación móvil través de conexión bluetooth. Adicionalmente, el software tiene la capacidad de sugerir una dieta de acuerdo con los ingredientes que sean comúnmente usados en esta cocina.

El internet de las cosas ha permitido a las personas realizar todo tipo de actividades en una forma más eficiente gracias a su gran efectividad. Es comúnmente usado en diversas áreas como la medicina, medio ambiente, transporte, los hogares, etc. (Hipertextual.com, 2014). Pero en este caso en particular es la cocina, donde gracias a las aplicaciones y dispositivos creados para este entorno es posible obtener grandes beneficios como una dieta sana libre de químicos, de muy buen sabor y fácil de preparar (Tilley, 2015).

Con el paso del tiempo, junto con los avances logrados, se le ha dado una considerable importancia al campo de la gastronomía. Debido a que la idea de que las personas puedan preparar sus alimentos al tiempo que ahorran tiempo y trabajo (Tilley, 2015), pero asegurando asimismo la buena calidad de los platos que normalmente se consumen u otras recetas más complejas.

## Antecedentes

Para esta investigación se han considerado algunos dispositivos como la balanza inteligente, con el nombre comercial de Situ, la cual ayuda a conocer los valores nutricionales de las comidas preparadas en casa. Esta puede ser conectada a una tablet y está directamente ligada con una aplicación móvil, desde la cual se puede obtener el valor nutricional de una gran variedad de ingredientes (Internetdelascosasblog.com, 2014). Solo basta poner el ingrediente a pesar sobre la superficie y se mostrará información en tiempo real. De igual forma, la aplicación permite obtener un historial de lo que la persona ha comido y puede ser compartido para que un médico o nutricionista pueda valorarlo.

De igual forma, existen dispositivos similares que cumplen con funciones semejantes como, por ejemplo, el Smart Diet Scale. Entre estos, simplemente varían en detalles que no tienen mucha importancia, como la forma o el color o la interfaz de la aplicación a la cual están ligados (Edwards, 2015; Clover, 2015).

Por otro lado, están los dispositivos que permiten a las personas escanear los alimentos. La idea de analizar la composición química de los alimentos no es nueva, pero sí lo es el hecho de llevar un pequeño aparato del tamaño de una USB en el bolsillo que permita obtener el análisis de la composición química de los alimentos y saber si lo que se va a comprar es lo que asegura la etiqueta (Práfelder, 2017).

La primera compañía que innovó en este ámbito es Consumer Physics, la cual desarrolló el miniescáner SCiO, este requiere una superficie de 2 mm para detectar la composición molecular de cualquier alimento con una exactitud casi perfecta; lo anterior sin importar que el alimento sea sólido, líquido o que se encuentre en un contenedor de vidrio, además muestra los resultados en cualquier dispositivo móvil que tenga conexión bluetooth (Arteaga, 2015).

El sensor funciona cuando envía una luz desde un espectrómetro molecular, casi infrarrojo, y excita las moléculas del alimento analizado. Las moléculas reaccionan de manera diferente y única, por lo que generan vibraciones únicas; el espectrómetro recibe esta vibración y la traduce a través de un software que muestra en la pantalla del aparato móvil la información obtenida (Mendoza, 2014).

La cantidad de usos que se le han dado a este escáner es enorme, ya que la gente no solo sabe qué tantas calorías o carbohidratos tiene un alimento, sino también puede revisar si un material es el que dice ser, como el cuero, o, aprovechando que puede escanear a través del vidrio, revisar si una bebida se encuentra en buen estado o tiene algún componente tóxico para el organismo.

Otra característica relevante es que es un dispositivo de aprendizaje, es decir, cada vez que

alguien lo utiliza alimenta una base de datos de conocimiento sobre la composición de cada cosa que está en el entorno y que crece en la medida que la gente lo use (Pérez, 2015). Eso sin tener en cuenta la información introducida por la compañía, como los algoritmos para traducir los datos entregados por el espectrómetro.

Existe otro sensor llamado Penguin, el cual posee grandes diferencias respecto al nombrado anteriormente. En este dispositivo es necesario situar el líquido que brota al apretar un alimento en una pequeña paleta, luego se introduce en el aparato y gracias a la pequeña pantalla saber si un alimento es orgánico o tiene algún componente extraño (Silva, 2015). De igual manera, el sensor se puede conectar a un dispositivo móvil y obtener una descripción más detallada, mostrando características como la vejez o la calidad, sin dejar de lado el valor nutricional.

La meta de todos estos sensores y aparatos es ayudar a la gente a tener una dieta más sana y saludable, teniendo en cuenta que gran parte de los alimentos que se consumen diariamente están llenos de componentes tóxicos o nocivos, los cuales generan un mal impacto en el cuerpo y resultan en enfermedades como la diabetes o el cáncer.

## Metodología

Para el desarrollo de la investigación se tomaron en cuenta tres factores fundamentales: la báscula, los sensores y el software.

### Báscula

La báscula está hecha de vidrio templado. Este material es propicio pues presenta gran resistencia a golpes y temperaturas, además permite al sensor capturar y escanear los alimentos a través de él.

Las dimensiones de la báscula son: 25 cm de ancho, 32 cm de largo y 4 cm de altura, y tiene un peso aproximado de 700 gr. El diagrama de la báscula se puede observar en la figura 1. En la parte inferior de la báscula se cuenta con una pantalla

de LCD de alto contraste, la cual ofrece información básica de los alimentos puestos sobre ella.

La conexión a dispositivos móviles será a través de Bluetooth versión 4.0, con esto se puede obtener una información más detallada de cada alimento escaneado de forma rápida, debido a que esta versión ofrece una velocidad de transferencia de 1 Mbps y la distancia máxima aproximada para permitir la transmisión de datos entre el sensor y el dispositivo móvil es 30 m.

Para darle poder a la fuente son necesarias cuatro baterías AA, las cuales permiten un uso aproximado de la báscula de 100 horas continuas. Esta tecnología es idónea para obtener energía, ya que de esta forma se evita la dependencia de un tomacorriente.

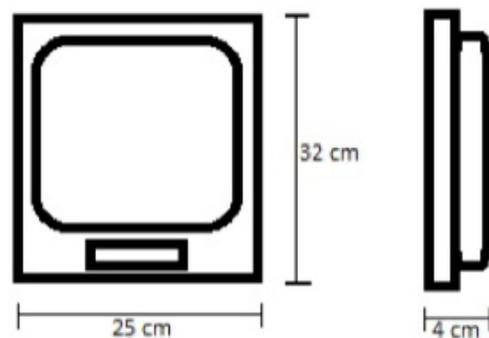


Figura 1. Dimensiones de la báscula.

Fuente: elaboración propia.

### Sensor

El sensor que permite escanear los alimentos emite una luz infrarroja de un espectrómetro molecular. Cuando la luz impacta el alimento las células vibran de forma única y diferente, y, al reflejar la luz, la información obtenida se traduce a través del software que estará implementado en la aplicación móvil.

Los elementos que debe detectar el sensor son:

- Glúcidos: formados por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), como la glucosa (al unirse muchas moléculas de este, se forma el

almidón) y la sacarosa, los cuales no son solubles en agua y son comúnmente llamados azúcares. Estos compuestos no se pueden descomponer en otros más sencillos.

- **Lípidos:** compuestas principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H) y en menor medida oxígeno (O), aunque también pueden contener fósforo (P), azufre (S) y nitrógeno (N). Las grasas y el colesterol son sustancias que se disuelven poco o nada en agua. En particular, las grasas que son de origen vegetal son llamadas aceites y si son de origen animal se denominan sebos. Asimismo, la grasa puede descomponerse en otras sustancias más sencillas como el glicerol y los ácidos grasos.
- **Proteínas:** compuestos básicamente por carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N); aunque pueden contener también azufre (S) y fósforo (P) y, en menor proporción, hierro (Fe), cobre (Cu), magnesio (Mg), yodo (Y), etc., La hemoglobina o el gluten son macromoléculas formadas por la unión de centenares o miles de moléculas llamadas aminoácidos. Las proteínas se diferencian unas de otras por la cantidad, tipo y disposición de aminoácidos que las conforman.
- **Vitaminas:** como la vitamina C (ácido ascórbico C<sub>6</sub> H<sub>8</sub> O<sub>6</sub>) y la vitamina A (retinol C<sub>20</sub> H<sub>30</sub> O) son sustancias que el organismo necesita en pequeñas dosis. Son imprescindibles para el óptimo funcionamiento a pesar de que el cuerpo no tiene la capacidad de sintetizarlas.

Por otro lado, en los alimentos biológicos se encuentran componentes químicos ajenos a su composición original, los cuales son usados con diversos fines como pesticidas u hormonas de crecimiento. Estas sustancias pueden ser detonantes de enfermedades tan graves como el cáncer o alteraciones en los sistemas del cuerpo humano.

Estas sustancias están clasificadas en los siguientes grupos:

- **Antibióticos:** estos se encuentran en los animales de granja y se aplican con el fin de evitar infecciones o aumentar su crecimiento. Sin embargo, las bacterias se vuelven resistentes, por lo que se aumentan las dosis, al ser consumidos estos alimentos los antibióticos llegan al cuerpo y es posible que puedan perjudicar el sistema inmunológico, haciéndonos más vulnerables a enfermedades o infecciones.
- **Dioxinas:** son contaminantes orgánicos persistentes no biodegradables, pero sí acumulables en tejidos orgánicos. Estas sustancias aumentan el riesgo de cáncer y de padecer alteraciones en sistemas inmune, endocrino y reproductor.
- **Irradiados:** son alimentos que han sido tratados con rayos X o electrones con el fin de eliminar gérmenes. Autoridades como la OMS aseguran que el consumo de alimentos tratados con estos procesos no tiene efectos secundarios, pero investigadores ajenos afirman que estas técnicas eliminan los nutrientes y generan productos radiolíticos que pueden aumentar el riesgo de adquirir cáncer.
- **Pesticidas:** son las sustancias más comunes y de igual manera muy tóxicas, las cuales evitan el ataque de insectos en las cosechas, pero que tienen efectos perjudiciales para la salud a mediano y largo plazo. Dependiendo del pesticida se pueden tener diferentes efectos, por ejemplo, los de tipo órgano fosfatados y carbonatos afectan el sistema nervioso. Existen otros (como glifosato, malation y diazinon) que producen irritaciones, reducen la fertilidad, generan malformaciones en fetos e incluso causan la muerte.
- **Plásticos:** esos componentes como el bisfenol A se adhieren a los alimentos, dependiendo de donde sean almacenados, y pueden tener efectos secundarios como la alteración del sistema hormonal, diabetes tipo 2, enfermedad cardiovascular y toxicidad hepática.
- **Transgénicos:** son sustancias introducidas a los alimentos con el fin de aumentar su resistencia

al clima y a las plagas. Aparecen comúnmente en el maíz y en carnes, pero conllevan riesgo de tener alergias y afecciones a la fertilidad.

**Software**

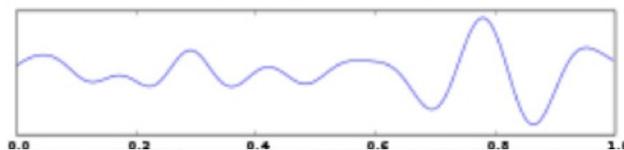
Se implementó un software de tipo aplicación híbrida, el cual soporta cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android 7 nougat (o inferior) o IOs 10 (o inferior). Esta aplicación tiene toda la información necesaria para realizar un análisis químico externo a los alimentos de procedencia agrícola que se desean escanear.

La interfaz gráfica permite a cada usuario obtener información detallada y específica que la báscula, por comodidad, amigabilidad y simpleza en su diseño, no puede mostrar. Además, el software puede almacenar la información de los alimentos que fueron escaneados y realizar recomendaciones de acuerdo con las configuraciones previas hechas por cada usuario.

**Simulación de señales theta**

A través del uso del software Matlab R2013b®, se simuló un sensor infrarrojo (IR) que permite

capturar señales de un espectrómetro. La simulación del sensor envía una señal de tipo theta, como se observa en la figura 2, la cual, en el momento de realizar el correspondiente análisis de cada alimento detecta las diferentes anomalías que puede presentar.



**Figura 2.** Señal theta.

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente, se le introducen valores nutricionales de diferentes alimentos de cada grupo alimenticio con el fin de detectar la variación en las señales.

**Valor nutricional**

Es necesario tener en cuenta que los análisis de alimentos se realizan a través de los requisitos establecidos por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima, 2011). Esta entidad se encarga de ejercer las funciones de

**Tabla 1.** Valores alimenticios.

Alimento	Calorías	Proteínas	Hidratos	Grasas
Aguacate	233	1.8	0.4	23.5
Carne de res	136	21.3	0	5.6
Fresa	35	0.8	5.5	0.4
Frijol	292	23.5	35.1	0.8
Kiwi	56	1	9.1	0.8
Manzana	55	0.3	11.5	0.3
Pechuga de pollo	113	20.6	0	3.4
Sandía	18	0.6	4.5	0.3
Tomate	23	0.8	3.5	0.2
Zanahoria	40	1.2	7	0.2

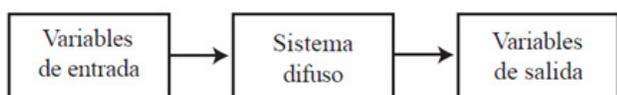
**Fuente:** basado en requerimientos del Invima.

inspección, vigilancia y control a los establecimientos productores y comercializadores de los alimentos, con el fin de obtener la mejor calidad a través de la certificación en buenas prácticas y condiciones sanitarias. Un ejemplo del valor nutricional de algunos alimentos se observa en la tabla 1; los valores están calculados en porciones de 100 gr.

El uso de herramientas tecnológicas como la lógica difusa, las redes neuronales artificiales, los sistemas expertos y los algoritmos genéticos en la solución de problemas industriales, económicos y financieros. Ha sido y producido un sin número de cambios en lo que hoy conocemos como organizaciones, ya que las en este momento se pueden contar actualmente con una diversidad de modelos que controlan diferentes tipos de información y por lo tanto ser más flexibles que los modelos basados en la lógica formal. Los retos del cambio tecnológico obligan a las organizaciones a estar en una constante revisión de paradigmas, de tal manera que les permita mantener su competitividad y su consolidación en el mercado.

Debido a esto, impera el hecho de que sean utilizados de alguna forma este tipo de tecnologías en el desarrollo de esta aplicación; en este caso en particular, el modelo establecido es un sistema experto difuso, híbrido entre los sistemas expertos y lógica difusa. Sin embargo, sabiendo que la complejidad al momento de determinar la cantidad de elementos exógenos en la superficie de algún alimento es alta, con esto se pretende minimizar los niveles de riesgo al momento de consumirlos.

**Lógica difusa:** un sistema de inferencia difuso se puede definir como un sistema que modela funciones no lineales teniendo unas variables lingüísticas de entrada, las cuales convierte en variables de salida mediante la lógica borrosa y grupos de reglas (figura 3).



**Figura 3.** Esquema general de la lógica difusa.

**Fuente:** Jang, Sun y Mizutani (1997).

La lógica difusa se fundamenta en los conjuntos difusos basados en reglas de la forma “Si... Entonces...”, donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos borrosos; es así como las reglas siempre convierten un conjunto borroso en otro. La lógica difusa (llamada también lógica borrosa por otros autores o Fuzzy Logic) es básicamente una lógica que permite definir valores en las áreas oscuras entre las evaluaciones convencionales de la lógica precisa: Sí / No, Cierto / Falso, Blanco / Negro, etc. Con la lógica difusa las proposiciones pueden ser representadas con grados de certeza o falsedad (Jang, Sun y Mizutani, 1997).

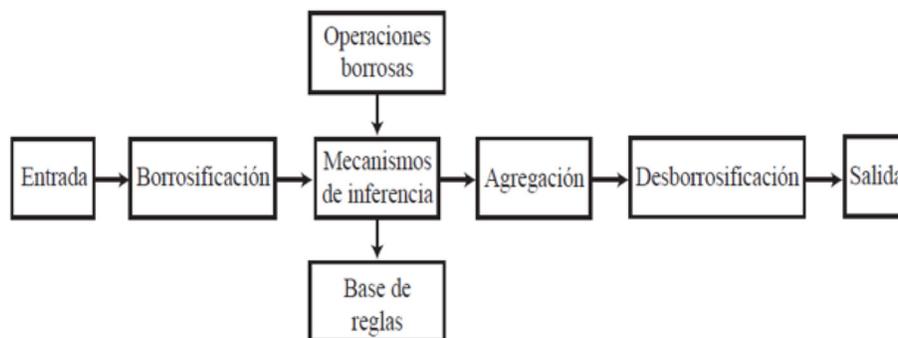
Es importante, a la hora del desarrollo de un sistema difuso, tener en cuenta los siguientes aspectos: identificación de variables de entrada y salida; determinación de conjuntos difusos; selección de método para agregación y desborrosificación o concreción; creación de base de conocimiento utilizando reglas del tipo Si-Entonces; diseño de mecanismo de inferencia; y evaluación y uso del sistema. Una forma general de representación de un modelo de lógica difusa se presenta en la figura 4.

Como se ha mencionado en el transcurso de este artículo, en el presente trabajo se muestran los fundamentos de la lógica difusa para la detección de elementos extraños en las superficies de alimentos orgánicos, usando un sensor infrarrojo que tiene como referencia una señal theta.

El programa idóneo para el diseño e implementación del modelo es Matlab. El lenguaje de Matlab, basado en matrices, es la forma más natural para expresar las matemáticas computacionales Matworks (2016).

## Diseño

En el diseño se tuvo en cuenta varios criterios explicados en la metodología. También, para cada una de las partes de los dispositivos se examinaron



**Figura 4.** Esquema general de la lógica difusa.

**Fuente:** Jang, Sun y Mizutani (1997).

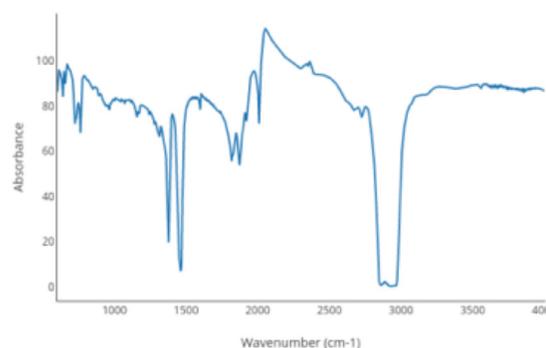
factores que pudieran generar fallos. A continuación, se presentan las diferentes características a tomar en cuenta.

**Báscula:** el vidrio templado con el cual está elaborada la báscula es un material altamente resistente ya que es aproximadamente cuatro veces más fuerte que el vidrio convencional. Para que el vidrio pueda ser usado es necesario que cumpla con los requerimientos de la norma EN 12150, que establece parámetros como el número de fragmentos en el que se debe dividir a la hora de romperse, el tamaño del fragmento más grande o la resistencia a altas temperaturas.

Estos requerimientos garantizan que la báscula como tal tenga una larga vida útil, o en caso de algún accidente que el usuario no salga afectado físicamente por el aparato.

**Sensor:** el sensor ideal para el dispositivo es un espectrómetro infrarrojo, pero no es práctico debido a que estos dispositivos son de gran volumen y peso. Por ello, a pesar de tener alto nivel de precisión para el análisis de elementos orgánicos, resultó poco indicado para la aplicación en conjunto con la báscula. Por esto existen espectrómetros con características semejantes (emiten luz casi infrarroja) que tienen el tamaño apropiado para adaptarlos en la báscula sin ningún problema. Cabe resaltar que las mediciones de los escaneos realizados por el sensor se miden a través de un plano cartesiano, que tiene como abscisas los

ciclos por centímetros los cuales hacen referencia al número de onda (es una magnitud de frecuencia que indica el número de veces que vibra una onda en una unidad de distancia). Por otro lado, en el eje de las ordenadas está la absorbancia, que permite la interpretación de los componentes químicos a través de la luz infrarroja. Un ejemplo se puede observar en la figura 5.



**Figura 5.** Ejemplo de luz infrarroja (absorbancia vs. ciclos por centímetro).

**Fuente:** elaboración propia.

**Software:** el desarrollo de software ha evolucionado progresivamente y su crecimiento constante ha generado sin número de beneficios en diferentes áreas del conocimiento. Es ahí donde la elección de la metodología idónea puede marcar la

diferencia entre el éxito o el fracaso de un proyecto. Debido a esto y al gran crecimiento que han tenido las denominadas metodologías ágiles, gracias al crecimiento de la productividad, la flexibilidad, el manejo de procesos organizados, repetibles y mejorables sin una alta inversión de presupuesto y de tiempo en su implementación, han hecho que Scrum, Extreme Programming y Feature Drive Development (Mitre, Ortega y Lemus, 2014) sean las más usadas en la industria. Teniendo en cuenta lo anterior, y lo que se desea desarrollar en esta investigación, las ventajas que ofrece la metodología Scrum se ajustan estrechamente a los objetivos planteados.

La naturaleza de Scrum para el desarrollo de software puede ser resumida en las siguientes etapas (Velázquez y Rodríguez, 2014):

- Diseñar una lista detallada de las funcionalidades del software (funcionales y no funcionales).
- Establecer claramente cuáles serán las funcionalidades (requerimientos) que se incluirán en cada una de las versiones del software.
- Establecer y estimar tiempos cortos para el desarrollo de cada versión.
- Desarrollar y entregar al usuario cada una de las versiones del software.
- Hacer reuniones de seguimiento de las entregas parciales, con el fin de completar la totalidad de las funcionalidades del software (considerando siempre las opiniones del usuario para la retroalimentación).

Adicional a esto, el desarrollo se ejecuta de forma iterativa e incremental. Cada entrega o iteración se denomina Sprint y tiene una duración preestablecida (no mayor a cuatro semanas), que tiene como objetivo una versión del software con nuevos requerimientos incorporados. Tras cada Sprint, se ajustan las funcionalidades presentadas y se añaden nuevas de acuerdo con una priorización y el aporte que generan al negocio (Morales y Peñaranda, 2017). En cuanto a los roles específicos que define Scrum, cabe destacar que todos

son desarrollados por diferentes miembros del equipo e incluyen actividades diversas; con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos propuestos inicialmente en el proyecto en el menor tiempo posible. Los roles son, según Velázquez y Rodríguez (2014):

- Propietario del producto (Product owner [PO]): persona responsable de identificar los requerimientos del software. Es quien entabla comunicación directa con el representante de los clientes o personas que utilizará el software.
- Desarrollador (Team): miembro del equipo responsable de realizar el código para incorporar en el software las funciones identificadas por el propietario del producto.
- Evaluador de la versión (Product owner [PO]): persona que realiza la evaluación de la versión del software que se está desarrollando
- Facilitador (Scrum master): es la persona que proporciona orientación y apoyo a todos los miembros del grupo, además de evaluar los avances en el logro de las metas del proyecto.

Con la aproximación preliminar, y para garantizar el buen desarrollo del software, se aplicaron metodologías de ingeniería de software expuesta. Cada una de las etapas hacen parte de una iteración o Sprint y se explican a continuación:

- **Análisis de requerimientos:** para conocer los requerimientos necesarios para la elaboración del aplicativo se hicieron encuestas a estudiantes universitarios de la Universidad Francisco José de Caldas. Estas fueron supervisadas por un nutricionista, ya que fue necesario establecer la dieta adecuada de acuerdo con el desgaste diario y las condiciones de salud que pueden presentar por tener una alimentación inadecuada y una insuficiencia de nutrientes, vitaminas, entre otros.
- **Especificación:** se depuraron los requerimientos e información inconsistente con el fin de que la aplicación tuviera un comportamiento

óptimo, de acuerdo con la evaluación del tipo de alimentación que tiene el grupo de personas en estudio se eliminaron los sesgos producidos al momento de la captura de la información para no incurrir en conclusiones erróneas. En este paso fue útil generar gráficas que arrojaban comportamientos y hábitos alimenticios. Entre otros requerimientos, la usabilidad y fácil entendimiento por parte de los usuarios fueron los abanderados para que la aplicación tenga una interfaz atractiva y con un cómodo uso.

- **Diseño y arquitectura:** para la aplicación se buscó que tuviera una base de datos con capacidad creciente de acuerdo con los elementos orgánicos que se escaneen con el sensor, por lo cual se aplicó el desarrollo en espiral. Este ciclo de vida permitió que la base de datos crezca sin incrementar el riesgo a que colapse o presente fallos, ya que esta permite mejorar su funcionamiento a medida que se va iterando.
- **Programación:** se usó un software llamado Córdova, el cual está diseñado con el fin de plasmar el código sin preocuparse por la plataforma a la cual se va a adaptar. Esta permite exportar el proyecto ya sea en IOS o en Android.
- **Prueba:** se hicieron pruebas unitarias constantemente con el fin de evitar la presencia de errores en la aplicación. Sin embargo, la idea fue que al llegar a esta etapa las pruebas presentaran buenos resultados debido a la planeación previamente hecha.

- **Documentación:** se tiene un manual de usuario que puede ser visto en la aplicación, donde se explica su funcionamiento paso a paso.
- **Mantenimiento:** se hace mantenimiento a la aplicación una vez al mes. En esta etapa se aplican parches correctivos de ser necesario y se adicionan los elementos orgánicos que se presenten en la base de datos que corresponden debidamente con un elemento orgánico (alimenticio).

## Resultados y análisis

Para el procesamiento de los datos se utilizó el toolbox de Matlab de lógica difusa (fuzzy logic). Este toolbox tiene la capacidad de trabajar bajo dos métodos de inferencia: mamdani y Tagaki-Sugeno-Kang. El funcionamiento de estos sistemas difusos es esencialmente similar, debido a que las partes básicas de cada sistema son iguales. Ambos cuentan con fusificación, base de conocimiento, inferencia y defusificación (Sakti, 2014).

Sin embargo, la principal diferencia radica en la forma como se establecen las reglas. Una regla de la base de reglas o de la base de conocimiento cuenta con dos partes, el antecedente (definido por un IF) y el consecuente (definido por un THEN). En el caso del sistema mamdani están basadas por expresiones lingüísticas propiamente; y en el sistema Sugeno solo el antecedente posee con una base lingüística y el consecuente se basa en una función de la entrada que tenga el sistema en un momento dado

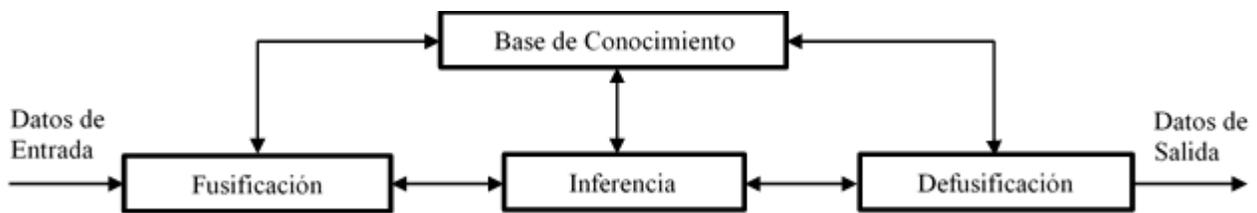
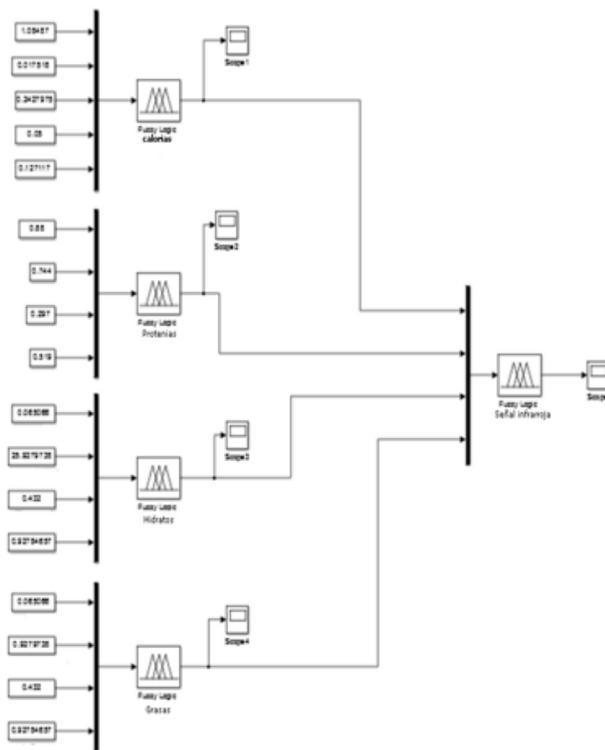


Figura 6. Diagrama de bloques de un sistema difuso.

Fuente: elaboración propia.

(Shaukat *et al.*, 2016). La definición de reglas y el sistema difuso usado se realizó con base en el modelo mamdani.

Los sistemas expertos permiten que, a través de una serie de entradas, se tenga como resultado una salida deseada y esto se hace gracias al establecimiento de una serie de conjuntos difusos y sus respectivos valores de pertenencia. Para este caso se tienen cuatro conjuntos difusos de entrada y un conjunto de salida, encargado de generar la señal respectiva según el tipo de información ingresada. Este se observa en figura 7.



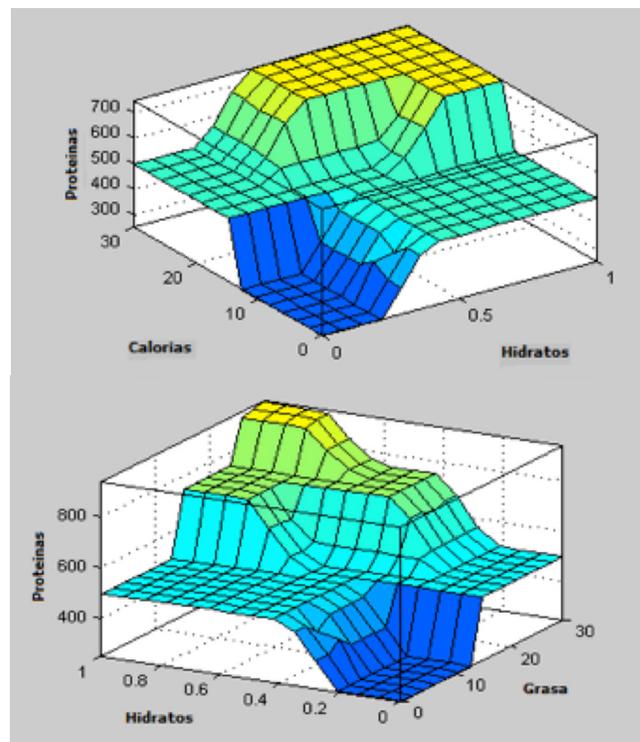
**Figura 7.** Sistema experto difuso propuesto.  
**Fuente:** elaboración propia.

La determinación de las reglas para cada sistema difuso se hizo con base en las recomendaciones expuesta por el nutricionista consultado y con los grupos alimenticios seleccionados (tabla 3). Según esto, se tomaron las características más representativas de componentes alimenticios consumidos por cada estudiante y se evaluaron las

unidades por gramo dependiendo de cada una, con el objetivo de implementar las tres entradas correspondientes, definidas así: vegetales, cárnicos y frutas.

En el caso específico de las entradas para el sistema de inferencia difusa, señal infrarroja, se utilizaron los resultados arrojados por los cuatro sistemas anteriores y se formularon las reglas como se muestra en la tabla 2.

Como bien es sabido, la determinación adecuada de las reglas puede generar una variedad de superficies que incluyen tres de las variables que hacen parte del sistema y esto se mapea en una figura en tres dimensiones (3D), que de acuerdo a sus picos pronunciados o suavizados ayuda a tomar acciones de control sobre el modelo. La figura 8 muestra las superficies resultantes al evaluar el conjunto difuso de salida con sus reglas respecto a sus cuatro entradas y las reglas pertenecientes a los mismos.



**Figura 8.** Representación de superficies para el conjunto difuso de salida.  
**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Reglas para el sistema inferencia difuso denominado señal infrarroja, incluye niveles determinados para los sistemas expertos de calorías, proteínas, hidratos y grasas.

	Grasas	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
	<b>Hidratos</b>	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	<b>Proteínas</b>									
Calorías										
Bajo	Alto	Medio	Medio Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio Alto	Medio	Medio
Bajo	Medio	Medio Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Bajo
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Bajo	Medio Bajo
Medio	Alto	Medio Alto	Medio	Medio Bajo	Medio Alto	Medio	Medio	Alto	Medio Alto	Medio
Medio	Medio	Medio	Medio	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio Alto	Medio	Medio
Medio	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio
Alto	Alto	Medio Alto	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Medio	Alto	Alto	Medio Alto
Alto	Medio	Medio	Medio	Medio Bajo	Medio Alto	Medio	Medio	Alto	Medio Alto	Medio
Alto	Bajo	Medio	Medio Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio Bajo	Medio Alto	Medio	Medio

**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 9 se muestran algunos conjuntos difusos con sus respectivos valores de pertenencia, los que permiten llegar a un análisis más profundo sobre los datos recolectados por la simulación del sensor.

Posteriormente, se obtuvieron las señales que se observan en las figuras 10, 11 y 12, las cuales fueron clasificadas por cada grupo alimenticio.

Al realizar el análisis de los diferentes componentes a través de la simulación, se puede observar claramente que las señales tienen comportamiento diferente. Sin embargo, muestran similitudes respecto a los picos y valles que se generan entre los alimentos pertenecientes a un mismo grupo alimenticio.

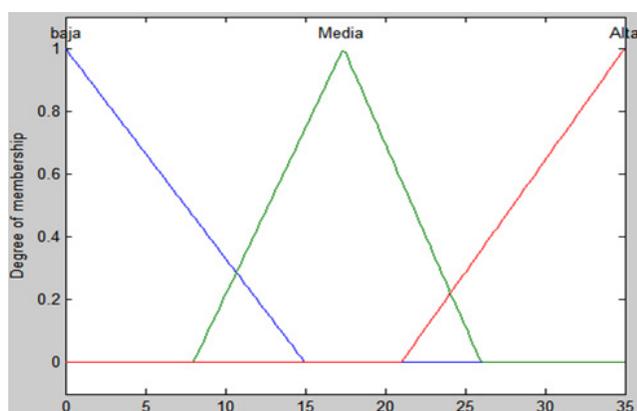
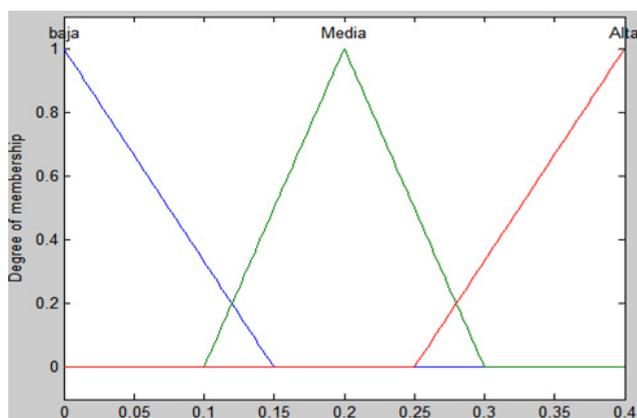
En el caso del grupo alimenticio de frutas, todas presentaron un pico alrededor de los 1600 y 1400

ciclos x cm y en diferentes escalas de absorbancia (figura 10).

Para el grupo alimenticio de vegetales no se logró establecer un patrón de comportamiento pues, como se puede observar en la figura 11, los diferentes alimentos escaneados presentan picos en diferentes ciclos por segundo. Pero cabe resaltar que las diferentes absorbancias no se superponen, lo cual permite asignar la señal emitida a un alimento diferente.

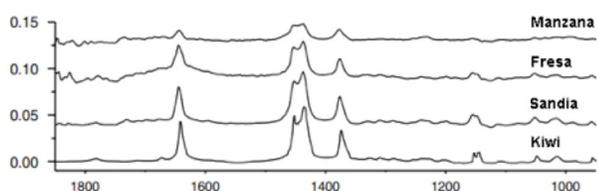
Por último, está el grupo alimenticio de los cárnicos los cuales presentan diferentes picos, resaltando los que se generan alrededor de los 1500 y 1200 ciclos por segundo (figura 12).

Esto permite dar paso al análisis de una gran variedad de alimentos orgánicos, con la seguridad de obtener resultados únicos de acuerdo con todos y cada uno de los alimentos.



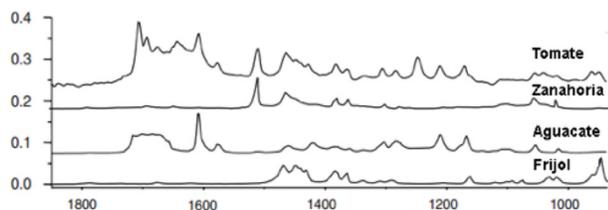
**Figura 9.** Valores de Pertinencia para el Conjunto Difuso de salida (Señales Infrarrojas).

**Fuente:** Elaboración Propia.



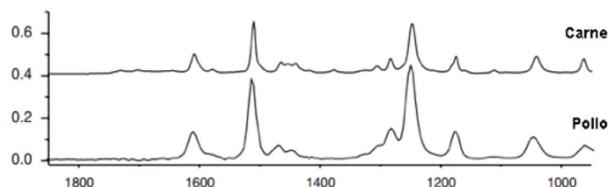
**Figura 10.** Señal de frutas.

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 11.** Señal de vegetales.

**Fuente:** elaboración propia.



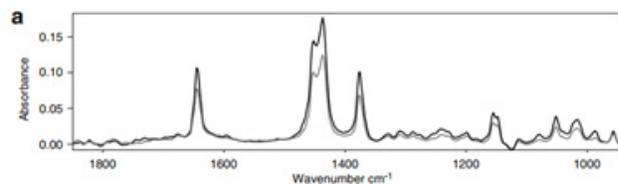
**Figura 12.** Señal de cárnicos.

**Fuente:** elaboración propia.

### Comparación de resultados

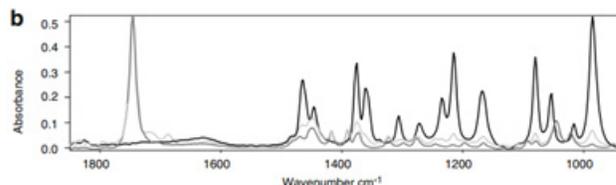
En este apartado es relevante tener en cuenta que los trabajos que abordaron una temática similar, como el de González, Garrigues, Armentab y de la Guardia (2011), restringen la cantidad de alimentos escaneados a uno o dos. Sin embargo, los resultados obtenidos por estos exponentes permitieron establecer una pauta para verificar si los resultados obtenidos en la simulación son equivalentes.

González, Garrigues, Armentab y de la Guardia realizaron el análisis a través de un método denominado reflexión y transmisión, en donde realizan un escaneo de diferentes muestras por medio de un espectrómetro infrarrojo siguiendo los parámetros establecidos en el ISO 13528 (en los cuales la variación de las diferentes señales de un mismo alimento no debe variar por más del 30%).



**Figura 13.** Valores de pertinencia el análisis de mandarinas (señales infrarrojas).

**Fuente:** González, Garrigues, Armentab de la Guardia (2011).



**Figura 14.** Valores de Pertinencia el análisis de tomates (Señales Infrarrojas).

**Fuente:** González, Garrigues, Armentab y de la Guardia (2011)

De acuerdo con la figura 13, las señales emitidas por el escaneo de mandarinas tuvieron una considerable similitud con las señales obtenidas en la simulación (figura 11), donde se obtuvieron picos sobresalientes alrededor de los 1600 y 1400 ciclos por segundo.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la figura 14 no presentan comportamiento semejante con los resultados obtenidos en la simulación (figura 12). Sin embargo, como se afirmó anteriormente, existen diferentes picos en ciclos por segundo y en diferentes niveles de absorbancia, a pesar de ello, cada vez que se simula el mismo alimento se genera una señal igual, lo que confirma el hecho de poder asignar un alimento a su señal emitida.

Respecto la comparación de alimentos del grupo alimenticio de cárnicos, no hay autores que aborden este tipo de alimentos, empero, la eficiente simulación de los otros grupos alimenticios permite afirmar que las señales emitidas por este tipo de alimentos son confiables.

De acuerdo con los valores obtenidos se pudo establecer la tabla 3.

Los valores de la tabla 3 se obtuvieron de la comparación de la simulación de un sensor que emite una señal theta. Estos arrojan un valor numérico llamado hit de calidad, estos valores se obtienen de la acumulación de 25 escaneos por cada

espectro con una resolución de 0.4 cm de una muestra de 1 g.

Al utilizar el sistema experto basado en lógica difusa, con el análisis expuesto durante el desarrollo de esta investigación, se obtuvieron resultados más objetivos y pertinentes. Dado que aporta una percepción más detallada de los componentes químicos presentes en los diferentes alimentos y, así mismo, permite establecer un punto de referencia óptimo respecto al funcionamiento del modelo.

Sin embargo, el sistema experto basado en lógica difusa ofrece una información que utiliza conceptos similares a la realidad, definiendo grados, variables de pertenencia y siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano (Manco y Medina, 2007). Pero, aunque esto es útil para una futura toma de decisiones, existen errores que pueden ser corregidos o mejorados mediante técnicas de optimización.

La optimización basada en el método del gradiente, también denominado quasi-newton, busca generar valores para la media de la distribución y la desviación típica que describen las funciones de pertenencia para cada variable de entrada y salida, que son las variables que definen la función a optimizar, manteniendo el mismo número de reglas (Rodríguez, Ponce y Espitia, 2013). Este proceso utiliza como información de entrada una función

**Tabla 3.** Valores comparativos.

Alimentos	Valor de los autores (hit de calidad)	Valor simulación (hit de calidad)	Diferencia porcentual
Manzana	990	903	8.79%
Fresa		914	7.68%
Sandía		936	5.45%
Kiwi		973	1.72%
Tomate		782	10.22%
Zanahoria	871	811	6.89%
Aguacate		797	8.5%
Frijol		832	4.48%
Carne		646	-
Pollo		694	-

**Fuente:** elaboración propia.

objetivo que establece el error entre: los datos reales y los datos simulados.

El proceso de optimización por quasi-newton requiere de un valor inicial para su ejecución, razón por la cual su convergencia puede estar en un mínimo local y no en el mínimo global como se esperaría. Este método nos ofrece una alta explotación, pero una baja exploración (Mayta, 2007). Es decir, nos permite, al encontrar una posible solución óptima, moverse en el espacio circundante a esta para encontrar la que más se acerque el óptimo en dicho vecindario.

Para la implementación de este método de optimización es necesario contar con un punto inicial de partida; para este caso será la distribución de los valores de pertenecía sobre los diferentes conjuntos difusos. Nuevamente, la función de desempeño establecida evaluará punto a punto la respuesta final con la generada desde los conjuntos difusos, para así ajustarlos y llegar a la respuesta deseada (figura 15).

El resultado arrojado por la optimización a través la aplicación de análisis por medio de sistema experto basado en lógica difusa y el análisis

de reflexión y transmisión implementado por Gonzálezveza, Garriguesa, Armentab y de la Guardia (2011), en términos cuantitativos se expresa así:

**Tabla 4.** Valores de desempeño de análisis.

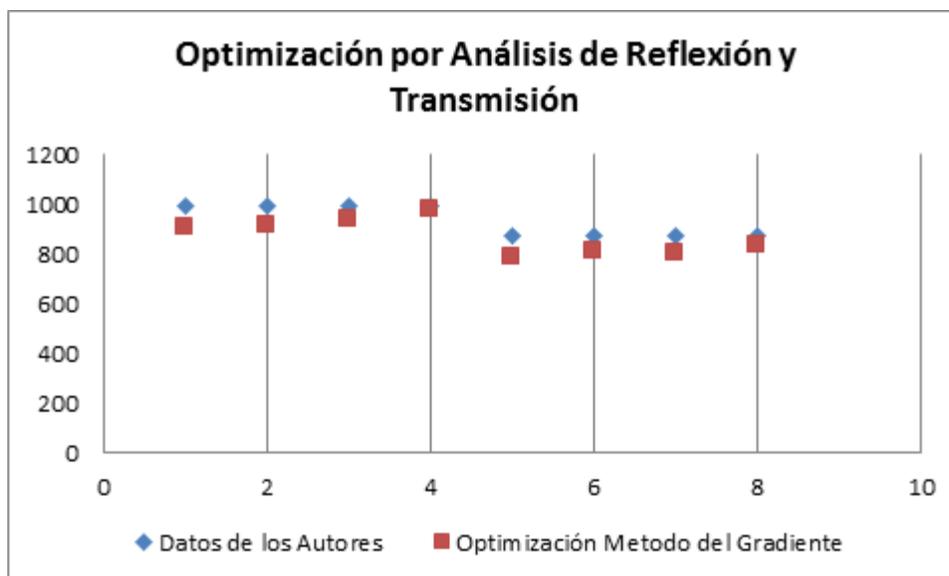
Análisis	Índice de desempeño
Lógica difusa y optimización por el método del gradiente	3.5444e-02
Método de reflexión y transmisión	3.8360e-02

**Fuente:** elaboración propia.

Se puede evidenciar que el análisis de lógica difusa es mejor que el análisis por reflexión y transmisión en un 7.57%.

### Análisis de resultados

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 3, se puede afirmar que la diferencia porcentual a nivel de frutos esta entre 1.72% y 8.79% con una diferencia promedio de 5.91%. A nivel de vegetales, la diferencia porcentual se encuentra entre 4.48%



**Figura 15.** Datos de los autores vs. sistema experto optimizado con método del gradiente.

**Fuente:** elaboración propia.

y 10.22%, estableciendo un promedio de 7.52%. Esto nos indica que los valores obtenidos en la simulación son más eficientes respecto a la emisión de señales a diferentes niveles de absorbancia respecto a los ciclos por segundo.

Respecto al grupo alimenticio de los cárnicos, no fue posible establecer un punto de comparación debido a que no existen otros modelos con los cuales se pueda comparar su eficiencia. Lo anterior puede ser útil para trabajos futuros, en los cuales se establezca el análisis químico de diferentes productos cárnicos y se pueda verificar la validez de los resultados obtenidos en esta investigación.

El análisis por medio de la aplicación de lógica difusa arrojó un índice de desempeño de  $3.5444e-02$ . Esto indica que tiene un mejor desempeño que el análisis por medio de reflexión y transmisión. Según este orden de ideas, la simulación del escaneo de componentes químicos presentes en alimentos de origen natural se presenta un funcionamiento eficiente y confiable debido a que es un valor cercano a 0.

Realizando un ajuste sobre los conjuntos difusos y sobre sus valores de pertenencia mediante la aplicación de un método de optimización, se denota que las acciones de control mejoran la efectividad de la evaluación de manera significativa. En este caso la mejora es de un 7.57% respecto al modelo establecido por los autores con los que se comparó esta investigación (reflexión y transmisión).

## Conclusión

Se concluye que la técnica de inteligencia artificial de lógica difusa, utilizando como sensor un espectrómetro, tiene un mejor desempeño en la evaluación de los alimentos que la técnica por reflexión y transmisión. Esto gracias a que la técnica de lógica difusa permite modelar sistemas donde las señales no son lineales y donde los límites de las diferentes categorías no son tan claros. En cambio, la técnica de reflexión y transmisión es más idóneo en sistemas lineales.

## Referencias

- Arteaga, S. (11 de septiembre de 2015). *Un escáner para ver la composición de la comida con el móvil*. Recuperado de: <http://computerhoy.com/noticias/hardware/escaner-ver-composicion-comida-movil-34067>
- Clover, J. (16 de julio de 2015). *Situ Scale Review: This Smart Scale Needs a Smarter App*. Recuperado de: <http://www.macrumors.com/review/situ-smart-scale/>
- Edwards, L. (20 de mayo de 2015). *Calorie counting just got easy, Situ smart scale even tracks vitamin intake - Pocket-lint*. Recuperado de: <http://www.pocket-lint.com/news/133968-calorie-counting-just-got-easy-situ-smart-scale-even-tracks-vitamin-intake>
- Gonzálveza, A., Garriguesa, S., Armentab, S. y de la Guardia, M. (2011). Determination at low ppm levels of dithiocarbamate residues in foodstuff by vapour phase-liquid phase microextraction-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 688(2), 191-196.
- Hipertextual. (2014). *¿Qué es y cómo funciona el internet de las cosas?* Recuperado de: <https://hipertextual.com/archivo/2014/10/internet-cosas/>
- Internetdelascosasblog.com. (2014). *Internet de las cosas en la cocina la vida más fácil*. Recuperado de: <http://internetdelascosasblog.com/internet-de-las-cosas-en-la-cocina/>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima). (2011). *Resolución 333*. Bogotá: Ministerio de Protección Social, Invima.
- Jang, J.-S. R., Sun, C.-T. y Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Manco, O. y Medina, S. (2007). Design of a fuzzy expert system: Credit risk assessment of stock brokerage firms in granting financial resources. *Estudios gerenciales*, 23(104), 101-129.

- Matworks. (2016). *Matlab*. Recuperado de: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- Mayta, R. (2002). Algoritmo evolutivo para el problema de árbol de expansión mínima (MST). *Industrial Data*, 5(2), 64-67.
- Mendoza, S. (1 de mayo de 2014). *Un mini escáner permite conocer los compuestos de cualquier material*. Recuperado de: <http://www.abc.es/tecnologia/noticias/20140501/abci-miniescanner-compuestos-material-201404301912.html>
- Mitre, H., Ortega, E. y Lemus, C. (2014). Estimación y control de costos en métodos ágiles para desarrollo de software: un caso de estudio. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(3), 403-418.
- Morales, S. y Peñaranda, J. (9 de junio de 2017). *Implementación del sistema informático para el control de historias clínicas en la empresa Pedisa-Orto*. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10742>
- Pérez, P. (18 de septiembre de 2015). *Un escáner de bolsillo analiza la composición de comida, bebida o medicamentos*. Recuperado de: [http://www.tendencias21.net/Un-escaner-de-bolsillo-analiza-la-composicion-de-comida-bebida-o-medicamentos\\_a41103.html](http://www.tendencias21.net/Un-escaner-de-bolsillo-analiza-la-composicion-de-comida-bebida-o-medicamentos_a41103.html)
- Praefder, E. (07 de abril de 2017). *Countertop smartens up the appliances and wearables you already own*. Recuperado de: <http://www.digitaltrends.com/home/the-countertop-kitchen-scale-makes-other-appliances-smart/>
- Rodríguez, L., Ponce, I. y Espitia, H. (2013). Colocación psicodélica de imágenes digitales mediante lógica difusa. *Ingeniería*, 18(1), 6-23.
- Sakti, I. (2014). *Methodology of fuzzy logic with mamdani fuzzy models applied to the micro-controller*. Information Technology, Computer and Electrical Engineering (Icitacee), 1st International Conference on IEEE (pp. 93-98). Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org.bdigital.udistrital.edu.co:8080/stamp/stamp.jsp?arnumber=7065721>
- Shaukat, N., Khan B., Arshad C. y Ali, S. (2016). *Takagi-Sugeno Fuzzy logic based speed control of Induction Motor*. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org.bdigital.udistrital.edu.co:8080/stamp/stamp.jsp?arnumber=7866767>
- Silva, E. (20 de enero de 2015). *Las primeras grandes nuevas tecnologías aplicadas a gastronomía del 2015 - Marketing Gastronómico*. Recuperado de: <http://marketinggastronomico.com/las-primeras-grandes-nuevas-tecnologias-aplicadas-a-gastronomia-del-2015/>
- Tilley, A. (2015). *El internet de las cosas se mete hasta la cocina*. Recuperado de: <http://www.forbes.com.mx/meld-el-internet-de-las-cosas-se-mete-hasta-la-cocina/>
- Velázquez, F. y Rodríguez, H. (2014). Diseño e instrumentación de una tutoría de asignatura en el programa de Licenciatura en Sistemas de Información Administrativa de la Universidad de Guanajuato. *Revista iberoamericana de educación superior*, 5(14), 41-54.

