

# OPTIMIZADOR DE ECO-PRODUCTOS DE ORIGEN VEGETAL APLICANDO CONTROL NEURONAL EN VHDL

(Optimizer of ECO-Products of Vegetable Origin applying Neural Control in VHDL)

Cecilia E. Sandoval-Ruiz<sup>1</sup>, Esperanza Ruiz-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctora en Ingeniería – Universidad de Carabobo, Venezuela. E-mail: [cesandova@gmail.com](mailto:cesandova@gmail.com)

<sup>2</sup>Especialista en Cocina Vegetariana – Estado Aragua, Venezuela

Recibido: 20-02-18 Aceptado: 18-05-18

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el diseño de un optimizador multifuncional con control neuronal, configurado en lenguaje descriptor de hardware VHDL, como alternativa tecnológica, para el diseño de eco-productos de origen vegetal, para el procesamiento de alimentos, de forma sostenible. El método consta del estudio de funciones de germinación / cultivador / conservador / procesador de subproductos / fermentador, de productos de origen vegetal, a través de experimentos y diseño de eco-productos, para definir los criterios y requerimientos del dispositivo inteligente. En el caso del germinador se realizaron experimentos con las variedades de leguminosas como lentejas (*Lens culinaris*) y frijol verde (*Vigna radiata*). Igualmente, se realizó la descripción del control adaptativo para el manejo de variables del proceso y aplicación de energías renovables. En conclusión se obtiene un diseño bajo criterios de tratamiento respetuoso y responsable con el medio ambiente, orientado a la innovación en el diseño de cocina de autor, aplicando proteínas de alta calidad, con facilidad de asimilación y eficientes en la utilización de recursos no renovables y energías alternativas, a través de la incorporación de tecnologías sostenibles, para una mejor calidad de vida y preservación de los recursos naturales, asociados a seguridad alimentaria.

**Palabras Clave:** Tecnología de Alimentos, Productos de origen vegetal, Optimización de Procesos, Control Neuro-Adaptativo, VHDL.

## SUMMARY

The objective of this research was to design a multifunctional optimizer with neuronal control, configured in VHDL hardware descriptor language, as a technological alternative, for the design of plant-based eco-products, for food processing, in a sustainable manner. The method consists of the study of functions of germination / cultivator / conservator / processor of subproducts / fermentor, of products of vegetable origin, through experiments and design of eco-products, to define the criteria and requirements of the intelligent device. In the case of the germinator, experiments were carried out with legume varieties such as lentils (*Lens culinaris*) and green beans (*Vigna radiata*). Likewise, adaptive control is described for the management of process variables and the application of renewable energies. In conclusion, a design is obtained under criteria of respectful and responsible treatment with the environment, oriented to the innovation in the design of author's kitchen, applying high quality proteins, with easy assimilation and efficient in the use of non-renewable resources and alternative energies, through the incorporation of sustainable technologies, for a better quality of life and preservation of natural resources, associated with food security.

**Key words:** Food Technology, Products of vegetal origin, Process Optimization, Neuro-Adaptive Control, VHDL.

## INTRODUCCIÓN

En consideración a la creciente demanda de alimentos, así como el impacto sobre el ambiente de las técnicas para la obtención de ciertos productos de la dieta convencional, se ha detectado la necesidad de proponer alternativas tecnológicas para el desarrollo sostenible, seleccionar productos ecológicos, estudiar los criterios de eficiencia en agro-producción y seguridad alimentaria, basadas en técnicas y métodos de bajo impacto ambiental (Sandoval & Ruiz, 2018a). Es por ello que se considera la selección de productos de origen vegetal como materia prima, por su menor impacto ambiental medido en el consumo de agua, emisiones de CO<sub>2</sub>, tratamiento respetuoso de la fauna, ahorro energético, todo esto en relación a otras alternativas alimenticias (Ecodes, 2016).

En Londra (2017) se afirma que el sector alimentario enfrenta grandes desafíos para mejorar su sustentabilidad. Es por ello que se plantea el análisis de estas posibles optimizaciones en cada técnica asociada al proceso de producción, el diseño de propuestas (Sandoval & Ruiz, 2018b) y la sistematización de avances tecnológicos, a través de un dispositivo inteligente que integren energías renovables en el tratamiento de los productos alimenticios, a fin de revalorizar sus propiedades aplicando técnicas sostenibles, garantizando su máximo aprovechamiento y menor impacto ambiental. En (Trujillo & Valdivieso, 2017) se formulan alternativas a base de productos de origen vegetal, con innovación en el diseño de propuestas. Igualmente, se encuentran investigaciones en la tecnificación de leches vegetales (Navarro *et al.*, 2007), así como el aprovechamiento de productos locales, en los que se investiga el valor nutricional de estos (Acevedo *et al.*, 2007). Destacando la importancia del diseño de modelos de alimentación de origen vegetal, bajo aspectos éticos, de salud y de impacto medio ambiental (Saz *et al.*, 2013).

Otro factor de interés la producción sostenible de alimentos, es el tipo de fuentes de energía que se aplicará en los dispositivos de procesamiento, en los que el control adaptativo (Sandoval, 2014), resulta un esquema idóneo por la dinámica de los sistemas de energías renovables (Sandoval, 2015). Igualmente, mediante el uso adecuado de la tecnología se pueden lograr altos rendimientos en los productos post-

cosecha (Miranda *et al.*, 2012), todos estos factores se han considerado en un diseño con criterios de sustentabilidad y respeto por la naturaleza, para la industria alimentaria. Así como el diseño de ahorradores inteligentes de energía y modelos híbridos de eficiencia energética (Sandoval, 2013), que puedan ser aplicados en los procesos de riego (para optimización del consumo de agua), control de temperatura, monitoreo, etc.

En esta oportunidad se ha seleccionado el estudio de métodos de eco-producción: (a) germinación de leguminosas, como alternativa para lograr una solución en materia alimentaria, de bajo costo y con amplios beneficios, (b) técnicas de confitados de frutas y deshidratado para sostener la accesibilidad a estos productos en fechas fuera del tiempo de cosecha, (c) fermentación en la producción de yogurt, (d) macerado como técnica de conservación, entre otros. Aportando propuestas de eco-innovación en productos alimenticios de origen vegetal (Sandoval & Ruiz, 2018b) y aplicación de control adaptativo en los modelos alimenticios (Suárez *et al.*, 2016). De esta manera, el objetivo es optimizar el procesamiento, a través de experimentos que sirven de insumo para el diseño del control neuronal en lenguaje descriptor de hardware VHDL, para potencializar la composición enzimática y de nutrientes, la eco-conservación y fermentación controlada, a fin de permitir avanzar en materia de tecnologías sostenibles para seguridad alimentaria.

Todos estos procesos pueden aplicar las técnicas sostenibles desarrolladas, se ha seleccionado así el estudio de los procesos de germinación de semillas. En investigaciones realizadas en (Davila *et al.*, 2003) presentan el potencial de las leguminosas como alimentos funcionales. El proceso de germinación de semillas para cultivos o para producción de alimentos sostenibles consta de un conjunto de pasos dados por la absorción de agua por imbibición, la ruptura final de la testa, el inicio de la actividad enzimática y desarrollo del brote. Para esto son necesarios algunos factores externos como humedad, disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y sobre todo una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos (Aguilar *et al.*, 2013). En investigaciones en el área (Andrade, 2005) se presenta una revisión general de la importancia que han adquirido los germinados en la alimentación humana y

los beneficios que se pueden obtener de su consumo. Estas propuestas pueden ser consideradas al momento de diseñar alternativas de alimentación ecológica y equipos para su procesamiento eficiente.

### MÉTODO DE DISEÑO

Este diseño busca promover el desarrollo tecnológico en materia de producción agroalimentaria. Por otro parte, algunos productos y subproductos, con el respectivo análisis de componentes nutritivos, resultan una alternativa para alimentación de mascotas. En estos casos, la proteína y algunos componentes sintetizados, a partir de productos vegetales pueden ser adicionados, de manera formulada, para compensar la demanda nutricional, considerando sus necesidades para el correcto desarrollo y salud. El equipo a diseñar tendrá un conjunto de funciones definidas por sensores de humedad, temperatura y actuadores, con gestión de ahorro energético, así como módulos de energía alternativa, como se presenta en la Fig. 1, basado en un diseño multifuncional, para optimización de procesos tecnológicos en materia de producción de alimentos, sistema de riego y módulo de ahorro energético.

En el caso experimental de los procesos de germinación, la unidad experimental la conformaron 50 gramos de cada uno de los tipos de leguminosas seleccionadas. Se diseñó el experimento empleando como herramienta un horno eléctrico de dimensiones 30 cm x 15 cm., el cual fue empleado como contenedor, se controló la temperatura en un rango de 32°C a 38°C para la observación de eficiencia del proceso, se manejaron los indicadores de humedad, a partir de un proceso de hidratación cada 8 horas y secado rápido, a fin de mantener un bajo porcentaje de humedad en las semillas, con capacidad de Absorción de Agua (CAA) en porcentaje.

En cada uno de los procesos se diseña un manejo ecológico del producto, para la germinación se seleccionan las muestras del producto leguminosa seca, de 3mm de diámetro en promedio. Se rehidratan en agua filtrada, por un tiempo de 12 horas, en un espacio esterilizado para prevenir contaminación. Luego de la hidratación alcanza un diámetro promedio de 5 mm, el procedimiento seguido consiste en hidrataciones de mantenimiento, para conservar el nivel de humedad necesario cada 8 horas, luego se drena el exceso de agua durante 5 minutos y se repite este procedimiento por tres días.

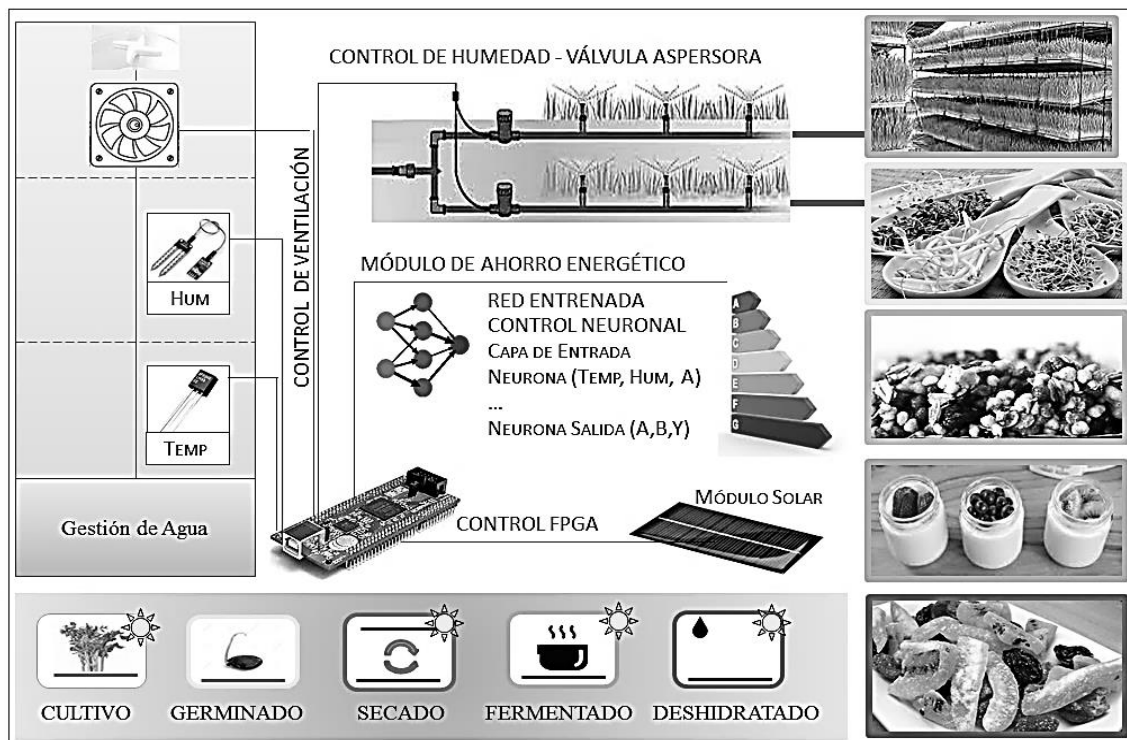


Figura 1. Diseño Conceptual de la Propuesta Tecnológica. Fuente: Propia de los Autores

Cada variedad de leguminosas requiere parámetros específicos de temperatura y humedad para germinar, por lo que se deben adaptar las condiciones en el programa del germinador. Se realizó el procesos de germinación (para las muestras seleccionadas), por cuatro días, con una secuencia de regado de las semillas y monitoreo, su registro se presenta en la Fig. 2.



Figura 2. Registro del Proceso de Germinación *Vigna Radiata*. Fuente: Propia de los Autores

El sistema de control programado en el dispositivo de hardware reconfigurable FPGA, comprende la adaptación de parámetros para el manejo de variables dinámicas, con la alternativa de configurar diversos procesos automatizados. Las bases del esquema de control adaptativo ha sido formulado en (Castellanos et al., 2014), su adaptación se ha desarrollado para arreglos solares (Sandoval, 2014), que pueden adaptar su posición para el control de temperatura óptima en cada proceso y una aproximación con redes neuro-adaptativas (Sandoval, 2017b).

En esta investigación se han definido los parámetros de entrada de la red: tipo de producto, condiciones climáticas externas, humedad, funciones programables del optimizador: deshidratador, germinador, fermentador, cultivador inteligente, para promover el desarrollo de huertas urbanas sostenibles (Sandoval, 2017a), (Sandoval-Ruiz, 2018) y las salidas: control de temperatura (por concentración solar), riego inteligente (aspersor) y ventilación. Dados los patrones de entrada y salidas objetivo (*targets*), se aplica el algoritmo de entrenamiento adaptativo, a fin de ajustar los parámetros de la red de control. El algoritmo de entrenamiento adaptativo ha sido diseñado en lenguaje descriptor de hardware VHDL, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Algoritmo de Entrenamiento de la Red Neuronal

<p>ENTRENAMIENTO ADAPTATIVO: --<i>Rutina de entrenamiento de los q patrones función. entrada / salida</i></p> <p><math>x(n) \leq \text{leer entradas}</math> -- <i>patrón a entrenar (vector de R entradas)</i>  <math>q \leq q + 1</math>; -- <i>incrementa el número de patrones</i>  <math>y(n) \leq w(n) * x(n) + b(n)</math>; -- <i>calcular la salida de la red</i>  <math>e(n) \leq t(n) - y(n)</math>; -- <i>error de la neurona para el patrón n</i>  <math>ea \leq e(n) + ea</math>; -- <i>error acumulado</i></p> <p>- <i>cálculo del error para el patrón <math>x(n) \rightarrow t(n)</math> con la matriz de pesos <math>w(n)</math> actual</i>  <i>For <math>i=1</math> to <math>R</math></i> -- <i>para cada entrada i del patrón n</i>  <math>w_i(n+1) \leq w_i(n) + u. xi(n). F[e(n)]</math>; -- <i>cálculo de pesos sinápticos <math>w(n)</math> es el vector de 1 a R elementos</i>  <math>b(n+1) \leq b(n) + u. e(n)</math>; -- <i>cálculo de polarización <math>b(n)</math> es el vector de 1 a R elementos</i>  <i>Next;</i>                  -- <i>Cálculo de salidas del optimizador, establecidas para las funciones entrenadas.--&gt; función: Germinación (G)</i>  <math>Temp\_CS \leq w_1(n) * x_1(n) + w_2(n) * x_2(n) + \dots + w_k(n) * x_k(n)</math>                  -- <i>ajuste del arreglo solar para control de Temperatura</i>  <i>UI: port map (función, tipo, med_temp, Temp, riego, vent);</i>                  -- <i>Componente para actualizar las salidas</i></p>
---

Se puede observar el algoritmo de entrenamiento adaptativo, donde se fijan los parámetros de la red neuronal, con el objetivo de controlar las variables, de temperatura, riego, entre otras, según el tipo de función seleccionada en el programa del optimizador.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez definida la importancia de los productos de origen vegetal, se plantea un conjunto de técnicas de preparación de estos productos de forma óptima, bajo criterios de eficiencia energética y técnicas sostenibles de procesamiento, para lo cual se toma como parámetro de estimación la temperatura y los métodos de tratamiento, para este objetivo se establece una relación entre las técnicas y el rango de temperatura. Se ha seleccionado en primer lugar las técnicas que demandan menor consumo de energía y que pueden ser desarrolladas a través de un método científico, aportando las bases para el mejor tratamiento de los alimentos, los resultados de la investigación se presentan resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Funciones Inteligentes definidas por método de procesamiento

Función Inteligente / Clase	T(°C)	Aporte del Diseño Integrado	Variedad	Proteínas	MINERALES (mg)				Observaciones
					Ca	K	Fe	Mg	
Cultivador / Plántulas. Energías Renovables	90	Módulos de Conversión de Energía para control de procesos / Termo Solar /	<i>Cucurbita Maxima</i>	32.00	896.5				Pre-Germinación Controlada
Secador / Hojas	35 - 52	Conservación sin humedad	<i>Origanum vulgare</i>	-	-				Secado Solar durante 5 h.
Germinador / Alimentos vivos	40	Alternativa nutricional optimizada. Revalorización de Nutrientes	<i>Vigna Radiata</i>	24.30	-				Brotos de Lentejas de 4.8 cm., en 4.3 días, con riego c/8 h.
			<i>Lens culinaris</i>	28.60	2.4				Brotos de Frijol V. de 5.5 cm. (en 3 días, con riego c/10 h.
Secador / Barras.	44 - 46	Productos Multigrano	<i>Sesamum indicum</i>	18.20	2365.7				Comp. Semillas de Ajonjolí
		Aprovechamiento semillas	<i>Cucurbita Maxima</i>	32.00	896.5				Rev. Semillas de Auyama
		Alimentos para mascotas	Alternativas Veg.	36.00	Complementos				-
Fermentador / Yogurt	46	Revalorización Enzimática	<i>Oryza Sativa</i>	7.94	23	223	1.47	143	Se seleccionó un agente fermentador de buena calidad
Deshidratador / Vegetales. Productos Locales	52 - 57	Descripción de tablas de nutrientes y sustitución alternativa	-	-	-				-
Deshidratador / Frutas	57 -63	Aprovechamiento máximo de frutas	Alternativas	36.00	Complementos				-
Maceración	25-28	Conservación Natural	<i>Daucus Carota</i>	0.93	33	320	0.3	12	Cocción en Medio Ácido
			<i>Solanum Melongena</i>	1.00	9	229	0.2	14	Cocción en Medio Ácido
Módulo de Compostaje	25-38	Reutilización de subproductos, cáscaras y cortezas vegetales	-	-	-				-

Fuente: Propia de los Autores

El modelado de eficiencia energética de cada propuesta, está dado en función de las experiencias diseñadas y permite obtener una estimación del consumo de potencia del dispositivo, definiendo una ecuación que establece la relación de los procesos aplicados con la eficiencia del producto final, como se presenta en la ecuación 1.

$$Eficiencia = 100\% - [(T_p - T_a) + M_{c,f} * t] \quad (1)$$

De esta manera, se tiene que la eficiencia del proceso será inversamente proporcional a la relación de  $T_p$  – temperatura requerida por el proceso con respecto a  $T_a$  – temperatura ambiente y la variable  $M_{c,f}$  – modificadores de condición física, ponderados por el  $t$  – tiempo requerido por el proceso. A partir de los datos correspondientes a temperaturas requeridas por las diferentes técnicas. Se realizó la estimación del ahorro energético (ver Fig. 3).

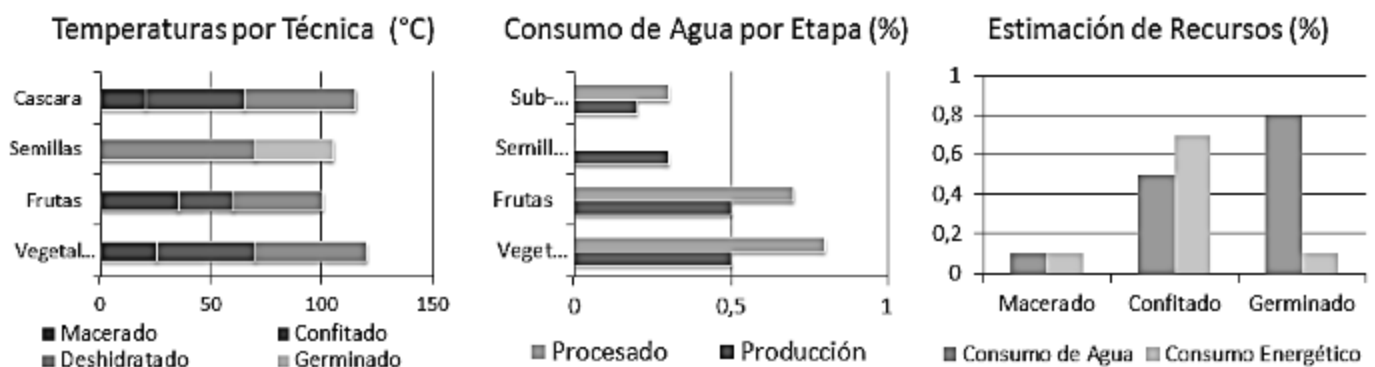


Figura 3. Relación de Optimización de los Procesos Estudiados

Estos resultados son obtenidos en relación a la temperatura promedio de procesamiento de los productos, referido a 180°C, el consumo de recursos naturales no renovables para cada tipo de propuesta, con el propósito de validar su aplicabilidad en los procesos eco-productivos y esto permite estimar el impacto ambiental de cada uno con respecto a los procesos industriales convencionales.

## CONCLUSIONES

Gracias a la presente investigación se logra una propuesta en materia de tecnología de alimentos, orientado a la eficiencia y aplicación de energías alternativas, menor consumo de agua, aplicando conceptos tecnológicos como las redes neuronales artificiales, en la automatización del optimizador. Logrando entre sus aportes:

- ✓ Diseñar un dispositivo inteligente, basado en el entrenamiento neuronal de funciones experimentales de tecnología de alimentos, se tecnifica el procesamiento y promueve la revalorización de los productos, las semillas y subproductos, con el estudio de sus propiedades.
- ✓ Incorporar el análisis de impacto ambiental y eficiencia, para cada uno de los procesos sobre productos de origen vegetal, se logra establecer una definición de criterios de diseño para el equipo optimizador, con lo cual se obtienen resultados más ecológicos y de alto valor nutricional, para garantizar la seguridad alimentaria, estimulando la eco-innovación.
- ✓ Optimizar los métodos de producción, bajo criterios de ahorro energético que comprende el procesamiento de los alimentos con técnicas eficientes y manejo de energía solar, con posicionamiento inteligente de los concentradores, a través de control neuronal, lo que aporta en la producción de conocimientos científicos-tecnológicos.
- ✓ Sistematizar los experimentos desarrollados, para definir un modelo de hardware en VHDL, con entrenamiento adaptativo de redes neuronales, a fin de optimizar de manera dinámica los procesos.

## REFERENCIAS

- Acevedo, I., García, O., Acevedo, I., & Perdomo, C. (2007). Valor nutritivo del bleado (*Amaranthus* spp) identificado en el Municipio Morán, Estado Lara. *Agrollanía Revista de Ciencia Y Tecnología*, 4, 77–94.
- Aguilar-Raymundo, V. G., & Vélez-Ruiz, J. F. (2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos*, 7(2), 25–34.
- Andrade Lee, X. (2005). *Método para la obtención de germinados de haba y lenteja (Vicia faba L y Lens esculenta)*. Doctoral dissertation. Universidad Nacional de Colombia.
- Castellanos, J., Sandoval, C., & Azpurua, M. (2014). A FPGA implementation of a LMS adaptive algorithm for smart antenna arrays. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de Zulia, Venezuela*, 37(3), 270–278. Retrieved from <http://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/21211/21051>
- Davila, M., Sangronis, E., & Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Arch Latinoam Nutr*, 53(January), 348–354.
- Ecodes. (2016). *Cocina Comprometida por el Clima*. Madrid, España.
- L. Suárez, A. Galicia, & C. Lameda. (2016). Control Adaptativo Linealizante de la Concentración de Etanol para un Cultivo Semiconínuo de Levaduras. *Agrollanía*, 13.
- Londra, R. (2017). Alimentos sustentables, una transformación en cadena.
- Miranda, C., Parada, G., Cabrera, G., Manzano, I., Oscar, G., Miranda, A. C., ... Manzano, I. (2012). Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso. *Acta Universitaria*, 22(3), 14–19.
- Navarro, P., Tapia, M., Pérez, E., Fernández, J., & Welti-Chanes, J. (2007). Leche de coco: composición, tecnología y funcionalidad. nuevas oportunidades para su conservación y uso. *Agrollanía Revista de Ciencia Y Tecnología*, 4, 37–52.
- Sandoval-Ruiz, C. (2015). Sistema Eco-Adaptativo integrado en elementos arquitectónicos con tecnología sostenible. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 4(8), 96–109. Retrieved from <https://issuu.com/recperspectiva/docs/rec8/96>
- Sandoval-Ruiz, C. (2017). Diseño Arquitectónico Inteligente aplicando conceptos de Urbótica y Sostenibilidad. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 6(11).

- Sandoval-Ruiz, C. (2017). Modelo Neuro-Adaptativo en VHDL, basado en circuitos NLFSR, para Control de un Sistema Inteligente de Tecnología Sostenible. *Revista Universidad, Ciencia Y Tecnología, 21(85)*, 140–149.
- Sandoval-Ruiz, C. (2018). Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City. *Revista Electrónica Científica Perspectiva, 7(12)*, 1–19.
- Sandoval-Ruiz, C. E., & Ruiz-Díaz, E. (2018). Eco-diseño de propuestas de cocina de autor basada en productos y tecnología sostenible. *Revista Qualitas, 15(1)*, 6–30.
- Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. (2018). Eco-Innovación en Ingeniería de Alimentos Sostenible aplicando técnicas Inteligentes de Eficiencia Energética – EcoSVeg. *Universidad, Ciencia Y Tecnología, 22(87)*, 54–66.
- Sandoval Ruiz, C. (2013). Diseño conceptual de un módulo híbrido para Generación eléctrica. In *VIII Congreso Nacional y 2do Congreso Internacional de Investigación Universidad de Carabobo*.
- Sandoval Ruiz, C. (2014). Adaptive Control in VHDL Applied to a Solar Oven. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(23)*, 142–147.
- Saz-Peiró, P., Morán del Ruste, M., & Saz-Tejero, S. (2013). La dieta vegetariana y su aplicación terapéutica. *Medicina Naturista, 7(1)*, 13–27.
- Trujillo, P., & Valdivieso, M. (2017). *Propuesta de Elaboración de platos de cocina de autor con base en diez variedades de carne vegetariana*. Universidad de Cuenca, Ecuador.