

REVISTA

SENNOVA



Vol 4 No. 1 2019

ISSN: 2389-9573 / E-ISSN: 2619-3973



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

REVISTA SENNOVA

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación

ISSN: 2389-9573

E-ISSN: 2619-3973

PERIODICIDAD: ANUAL

Volumen 4

Enero – Diciembre de 2019

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Calle 57 No. 8 - 69 Bogotá D.C. (Cundinamarca), Colombia

Correo: revistasennova@sena.edu.co URL OJS: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/index>



Copyright

La publicación de los artículos en la Revista SENNOVA es responsabilidad de los autores, los artículos publicados en medio impreso y electrónico están autorizados por los autores mediante cesión de derechos de autor

Calidad Editorial y Propiedad Intelectual

La revista se acoge a los lineamientos de copyright: Creative Commons 4.0, la política: Atribución-No comercial-Compartir igual (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Este tipo de política suscita el reconocimiento al derecho de autoría de carácter no comercial y que deben compartir la información tal y como está publicado en la página web.



COMITÉ EDITORIAL/CIENTÍFICO

Ruth Cordoba-Rodriguez, PhD

Director, Regulatory Affairs
AstraZeneca
Baltimore, USA.

Daniela Franco Bodek

PhD. en Ciencias Químicas
Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad de México.
México.

Héctor Fabio Cortes Hernández

PhD. en Ciencias Químicas
Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
Medellín.
Colombia.

Pablo Andras Ortiz Pineda

PhD. en Biología molecular
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Oscar Javier Osorio Pedroza

PhD. Ciencias Químicas y Tecnologías de
Polímeros
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Yuli Marcela Ordoñez Castañeda

PhD. en Biotecnología
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Stephany Valle Cordoba

MSc. En Desarrollo Humano
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

EQUIPO EDITOR

Carlos Mario Estrada Molina

Director General
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Farid de Jesús Figueroa Tires

Director de Formación Profesional
Servicio Nacional de aprendizaje – SENA

Álvaro Fredy Bermúdez Salazar

Subdirector Centro de Comercio y Servicios
Servicio Nacional de aprendizaje – SENA

Aylin Viviana Silva Ortiz, PhD.

Editora
Servicio Nacional de aprendizaje – SENA

Jaime Andres Morales Saavedra

Gestor Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Omar Arley Arenas Quimbayo

Apoyo a la Gestión Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA





EDITORIAL

En nuestro país, el desarrollo de la ciencia y la tecnología ha sido un proceso con bastantes altos y bajos, enfrentando constantemente una lucha por demostrar su importancia en el mejoramiento del sector productivo, de la economía y en el alto impacto social que estas conllevan, buscando año tras año, nuevas estrategias y actividades que permitan visibilizar y aumentar el alcance e impacto del trabajo de cada uno de los actores del sistema de Ciencia y Tecnología y de los resultados de sus procesos de investigación e innovación en las diferentes regiones.

En ese contexto el SENA como parte del Sistema de Ciencia y Tecnología del País, creó el sistema de investigación, desarrollo tecnológico e Innovación Sennova por medio del cual se ejecuta la política de contribución de la entidad a la Ciencia y Tecnología del País; fortaleciendo capacidades locales en productividad, competitividad y generación de conocimiento.

Conscientes del valor y de la gran importancia que tienen los aportes de la Ciencia al desarrollo tecnológico y productivo del país, Sennova por medio de su línea programática de Apropiación de la Cultura de la Innovación y la Ciencia, busca promover y difundir los resultados de los proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación por medio de la publicación de libros y revistas científicas de divulgación o de investigación.

Por lo anterior el equipo editorial de la Revista Sennova se place en presentar el volumen 4 de la Sennova, revista científica de divulgación, liderada desde el Sistema de Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA, en la cual se presentan diferentes investigaciones desarrolladas desde los Centros de Formación, las cuales buscan contribuir resultados que impacten el sector productivo y social aportando nuevos conocimientos

en diferentes áreas tales como electrónica, robótica, medio ambiente, agroindustria, biotecnología y gestión del conocimiento.

Agradecemos a los autores de cada uno de los artículos aquí presentados y esperamos que puedan seguir aportando a esta gran iniciativa con soluciones concretas y aplicables para el entorno productivo y social de nuestro país.

A nuestros lectores esperamos que este nuevo número les sirva como una herramienta que les permita identificar insumos para sus actuales y futuras investigaciones y para el desarrollo de nuevos conocimientos.

Aylin Viviana Silva Ortiz

Doctora en Ciencias Químicas

Asesora SENNOVA



CONTENIDO

Validación de una metodología analítica para la determinación de aluminio en muestras de agua potable mediante espectrofotometría visible en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del Centro de Comercio, Industria y Turismo SENA Regional Córdoba <i>Carlos Andrés Burgos Galeano, Álvaro Enrique Aleán Vásquez, Paula Andrea Estrada Palencia, Leonor María Barrios Padilla</i>	12
Hardware para una prueba probabilística de primalidad <i>Rodrigo Alberto Llorente Triana, Iván Londoño</i>	24
Nanotecnología en la industria alimentaria <i>Diana Marcela Gómez Mejía</i>	42
Gestión de vertimientos líquidos de la industria del almidón de yuca en Santander de Quilichao <i>José Eyder Hernández González</i>	54
Estudio de mercado para la comercialización de productos hortofrutícolas a través de una aplicación móvil <i>Beatriz Elena Bedoya Mendoza, Brian Mauricio Márquez Mejía, Blanca Nory Valencia Cruz, Constanza Montalvo Rodríguez, Luz Elena Moreno Arboleda</i>	67
Hacia el mapa de conocimiento de SENNOVA-CEAI <i>William Fernando Vallejo Revelo, Jaime Diego Arias Figueroa</i>	80
Control de movimiento y simulación 3d con cinemática completa de un manipulador de 5 gdl en el software Cad catia de DASSAULT SYSTEMES <i>Óscar Manuel Duque Suárez, Andrés Mauricio Puentes Velázquez</i>	108



The background of the page is a dark gray. On the left side, there are several overlapping triangles in shades of orange and yellow. Some of these triangles contain grayscale photographs of nature, including trees and foliage. The text 'Medio Ambiente' is written in a light orange color, centered on the right side of the page.

Medio Ambiente

VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ALUMINIO EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA VISIBLE EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL DEL CENTRO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO SENA REGIONAL CÓRDOBA.

VALIDATION OF AN ANALYTICAL METHODOLOGY FOR THE DETERMINATION OF ALUMINUM IN DRINKING WATER SAMPLES BY VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY IN THE LABORATORY FOR RESEARCH AND ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE SENA REGIONAL CÓRDOBA CENTER FOR COMMERCE, INDUSTRY AND TOURISM.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1660>

Recibido: 20.08.2018 Aceptado: 04.12.2018

Carlos Andrés Burgos Galeano

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
cburgosg@sena.edu.co
Colombia

Álvaro Enrique Aleán Vásquez

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
alvaroalean@hotmail.com
Colombia

Paula Andrea Estrada Palencia

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Paula1.5@hotmail.com
Colombia

Leonor María Barrios Padilla

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
leonorbarrios12@gmail.com
Colombia

Burgos, C., Aleán, A., Estrada, P., Barrios, L. (2019) Validación de una metodología analítica para la determinación de aluminio en muestras de agua potable mediante espectrofotometría visible en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del centro de comercio, industria y turismo SENA Regional Córdoba. Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 12-20. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1660>

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la validación del método espectrofotométrico: 3500B-(Al), para la determinación de aluminio en muestras de agua potable, el cual proporcionó resultados de límite de detección y cuantificación de 0.0130 y 0.020mg/L respectivamente, coeficientes de variación entre 0.610-2.100% para la precisión evaluada como repetibilidad, y 0.670 – 3.500% para la precisión evaluada como reproducibilidad intermedia, estos valores están dentro de los niveles permisibles por la AOAC (1993). Otro parámetro evaluado fue la exactitud en función de porcentaje de error, en el cual se obtuvieron porcentajes de error menores al 10% y porcentaje de recuperación con un valor promedio de 90.9% el cual se encontró en el intervalo de aceptación establecido por la AOAC (1993) en función de la concentración de analito. Para comprobar la fiabilidad de los resultados, se hicieron varias pruebas estadísticas entre las que están t-studen, test de, Cochran, test de Grubbs, este último para rechazo de datos.

Palabras Claves: detección, cuantificación, AOAC, t-student, coeficiente, exactitud.

ABSTRAC

In the present work the validation of the spectrophotometric method was performed: 3500B- (Al), for the determination of aluminum in drinking water samples, which provided detection limit and quantification results of 0.0130 and 0.020mg /L respectively, coefficients of variation between 0.610-2.100% for the accuracy evaluated as repeatability, and 0.670 - 3.500% for the accuracy evaluated as intermediate reproducibility, these values are within the permissible levels by the AOAC (1993). Another parameter evaluated was the accuracy based on percentage of error, in which error percentages lower than 10% and recovery percentage were obtained with an average value of 90.9% which was found in the acceptance interval established by the AOAC (1993) as a function of the analyte concentration. In order to verify the reliability of the results, several statistical tests were carried out, among which are t-studen, test of, Cochran, Grubbs test, the latter for rejection of data.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para los ecosistemas naturales y la vida humana y, por lo tanto, como establece la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (UE), un “patrimonio que debe ser protegido, defendido y tratado como tal”. Sin embargo, en la actualidad el recurso hídrico está siendo afectado por presiones crecientes; como, por ejemplo, el cambio climático, la sobreexplotación y la contaminación de fuentes puntuales y difusas por sustancias químicas (Brack et al., 2017).

Por lo que el control de estas sustancias se ha convertido en una prioridad en sistemas de tratamiento de agua, y entre los compuestos que han capturado importante atención se encuentra el aluminio el cual está distribuido en una amplia variedad de formas químicas en todo el entorno. Las formas de origen natural de aluminio son generalmente estables y no interfieren con los procesos biológicos. Sin embargo, a valores de pH bajos (5.5), el metal se hace biodisponible a las plantas y la cadena alimentaria a partir de rocas de origen natural y el suelo (Al-kindy et al., 2015).

Además, las sales de aluminio (sulfato de aluminio) se utilizan como agente coagulante en el proceso de potabilización del agua, y de esta manera pueden quedar residuos presentes en esta, llegando a los cuerpos receptores, es decir, nosotros los seres humanos (Cogollo, 2010).

Con la finalidad de determinar las concentraciones de este metal presente en aguas se han desarrollado varios procedimientos, entre los que se encuentra el método de Eriocromo Cianina R el cual consiste en tamponar a pH 6 soluciones de aluminio que producen con la tinción de Eriocromo Cianina R un complejo de color rojo o rosado que presenta un máximo de absorción a 535 nm, a esta longitud de onda se lee la absorbancia del compuesto (APHA AWWA WPCF, 2012).

Por lo cual el objetivo del presente trabajo fue validar el método anteriormente descrito: 3500B-(Al) para la determinación de aluminio en muestras de agua potable mediante espectrofotometría Visible en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del centro de comercio, industria y turismo SENA regional Córdoba y de esta manera poder prestarles el servicio a los clientes interesados en cuantificar aluminio en muestras de agua con resultados altamente confiables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estandarización del método

En las instalaciones del Laboratorio de investigación y calidad ambiental del SENA se realizó la validación del método el cual fue de carácter analítico-estadístico, la metodología que se utilizó para el análisis mediante espectrometría visible se realizó según el método 3500B-(Al) (método Eriocromo Cianina R) de acuerdo con la metodología de Standart Methods 2012.

Toma de muestra

Para realizar la validación del método fue necesario la selección de las muestras, las cuales se tomaron y acondicionaron en frascos de plástico, limpios, enjuagados con ácido HCl (1+1), y se examinaron en el momento que alcanzaron la temperatura ambiente (APWA AWWA WPCF, 2012).

Materiales y equipos

Vasos de precipitados, pipetas de 1 y 10 mL, pipeta volumétrica de 5 mL, matraces aforados de 10, 50, 100, 250 y 500mL, pipetas de 1 y 10mL, espátula, bureta, erlenmeyer, frasco lavador, agitador de vidrio, espectrofotómetro Thermo scientific modelo Genesis 30, autopipeteador, transferpipeta de 100-1000 μ L, balanza analítica electrónica ADAM modelo Pw 254.

Preparación de reactivos

Para la realización de los ensayos, fue necesario la preparación de las siguientes soluciones: solución madre de aluminio de 5 mg/L: se tomaron 500 μ L de la solución estándar de aluminio de 1000 ± 0.002 mg/L y se transfirieron a un balón de 100 mL clase A, posteriormente se aforó. Solución de ácido sulfúrico 0,02 N: Se preparó diariamente a partir de una solución intermedia de 0,1 N de esta se tomaron 2.76 mL y se diluyó a 50 mL, solución de ácido ascórbico 0.1%: se disolvieron 0.05002 g de ácido ascórbico en 50 mL de agua destilada.

Solución tampón: al igual que la solución anterior esta se preparó diariamente, para ello se disolvieron 68 g de acetato de sodio trihidratado ($\text{NaCl}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en agua

destilada y se le agregaron 20 mL de ácido acético 1 N, luego se aforó a 500 mL.

Solución tinción de reserva: para la preparación de esta solución se disolvieron 0.3007 g en aproximadamente 50 mL de agua destilada, se ajustó el pH a 2.88 con ácido acético (1+1) y se diluyó a 100 mL en un balón aforado clase A.

Solución de tinción de trabajo: se tomaron 25 mL de la solución de tinción de reserva con pipeta volumétrica y se transfirió a un balón de 250 mL, y se aforó con agua destilada hasta completar el volumen

Solución de EDTA 0.01 M: se pesaron 0.0928 g de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y se disolvieron en agua, posteriormente se aforó a 25 mL.

PROCEDIMIENTO

Preparación de la curva de calibrado

Una vez se tuvieron todas las muestras y reactivos de análisis listos, se procedió a determinar la curva de calibración, la cual se encontró entre el intervalo de 0.06 a 0.3 mg/L y se determinó mediante la medición con precisión de los volúmenes calculados de la solución estándar de aluminio en matraces volumétricos de 50 mL. Se añadió agua hasta un volumen total de aproximadamente 25 mL.

Se adicionó 1 mL de H_2SO_4 0.02 N para cada estándar y se mezcló. Se añadió 1 mL de solución de ácido ascórbico y se agitó. Se añadieron 10 mL de solución tampón.

Con una pipeta volumétrica, se añadieron 5 mL de reactivo de tinción de trabajo y se agitó. Inmediatamente se completó a 50 mL con agua destilada, se mezcló y se dejó reposar de 5 a 10 minutos. El color de la tinción comienza a desaparecer después de 15 min. Se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro Thermo scientific, modelo Genesis 30 usando una longitud de onda de 533 nm.

Se ajustó el instrumento a cero de absorbancia con el estándar que no contenía aluminio.

Tratamiento de la muestra

Se tomaron 2 5mL de muestra, o una porción diluida a 25 mL, en un erlenmeyer se añadieron unas gotas de indicador mixto y se tituló con H_2SO_4 0.02 N hasta obtener un color rosa pálido. Se registró la lectura y se descartó la muestra. Para dos muestras similares a temperatura ambiente se añadió la misma cantidad de H_2SO_4 0.02 N utilizado en la titulación y 1 mL en exceso.

Para una muestra se añadió 1 mL de solución de EDTA. Esto sirvió como blanco debido a la formación del complejo con el aluminio presente y compensación de color y turbidez. Para ambas muestras se agregó 1 mL de ácido ascórbico, 10 mL de tampón de reactivo y 5mL de reactivo de tinción de trabajo.

Se colocó el instrumento a cero de absorbancia con ayuda del blanco EDTA. Después de 5 a 10 minutos de tiempo de contacto, se leyó la absorbancia y se

determinó la concentración de aluminio a partir de la curva de calibración previamente preparada.

El cálculo de aluminio se expresa en mg/L:

$$\text{mg Al}^{3+}/\text{L} = \frac{\mu\text{g Al (in 50 mL final volumen)}}{\text{mL sample}}$$

PLAN DE VALIDACIÓN

Linealidad

Para evaluar la linealidad del método se prepararon 7 diluciones de la solución intermedia de aluminio (5 ppm) comprendiendo los niveles de 0.06 - 0.38 ppm. Se hicieron 3 curvas de calibración de las cuales se escogió la que presentó mayor coeficiente de determinación.

Rango lineal

Se determina teniendo en cuenta la curva de calibración, observando el intervalo con mayor linealidad.

Límite de detección

Se realizaron 7 mediciones de los blancos independientes, luego se calculó la desviación estándar y posteriormente se halló el límite de detección instrumental con la siguiente ecuación: $LDI = 1.645 Sb$, donde Sb , es la desviación estándar de los blancos. Para hallar el límite de detección del método se realizaron 7 mediciones de blancos de reactivos, a los cuales se les calculó el promedio y desviación estándar, necesarios para calcular el LD.

Límite de cuantificación

Para hallar este parámetro se realizaron 7 mediciones de blancos de reactivos, a los cuales se les calculó el promedio y desviación estándar y posteriormente se calculó el límite de cuantificación.

Precisión

Se evaluó como repetibilidad y reproducibilidad intermedia, se expresan como coeficiente de variación.

Repetibilidad: Se evaluó a tres niveles de concentración, aplicándose el procedimiento analítico descrito, bajo las mismas condiciones operativas (día, analista, equipo). Las determinaciones se hacen por triplicado.

Reproducibilidad intermedia: Se evaluó a tres niveles de concentración, aplicándose el procedimiento analítico descrito, bajo diferentes condiciones operativas (día, analista, equipo). las mediciones se hicieron por triplicado.

Exactitud

Se evaluó a tres niveles de concentración como porcentaje de error, y porcentaje de recuperación, en este último caso, se doparon muestras con concentraciones, que comprenden el intervalo, bajo medio y alto. Las determinaciones se hicieron por triplicado.

de 0.060 a 3.800 mg/L de aluminio. A los datos se les calcularon los coeficientes de variación, que oscilaron entre, 1.563-1.950 cuyos valores son menores al 5%.

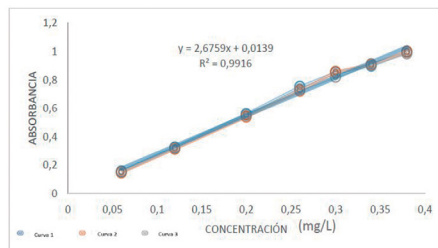


Figura 1. Curvas de calibración para la determinación de aluminio mediante espectrofotometría visible

Fuente: elaboración propia

En las curvas realizadas se observa que la linealidad se pierde a partir de concentraciones superiores a 0.3mg/L, ya que las curvas de aluminio presentan adecuada linealidad hasta ese valor. Por tal motivo se determinó que el intervalo más apropiado para continuar la validación es de 0.060-0.300 en el cual se tiene la certeza que proporcionará un coeficiente de determinación más cercano a 1.

A continuación, se presentan los coeficientes individuales de cada gráfica, ya que solo se escogió una para hacer las determinaciones de aluminio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Linealidad e intervalo de trabajo

Se realizaron curvas de calibrado en el mismo día en el intervalo de concentración

Tabla 1.
Coefficientes individuales de las tres curvas en el intervalo de 0.06 – 0.3 mg/L

Coefficientes	Curva 1	Curva 2	Curva 3
Pendiente	2.9298	2.9332	2.840
Intercepto	-0,0226	-0.0300	-0.0153
R²	0.9993	0.9990	0.9990
R	0.9996	0.9995	0.9995

Fuente: elaboración propia

Límite de detección y cuantificación

Para hallar el límite de detección del método, se prepararon 7 blancos de reactivos a los cuales se les calculó la concentración obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2.
Concentraciones de los blancos

Medidas	Concentración (mg/L)
1	0.012
2	0.011
3	0.011
4	0.009
5	0.009
6	0.009
7	0.011
$\bar{X}$	0.010
S	0.001

Fuente: Elaboración propia

Precisión

La precisión se determinó en términos de repetibilidad y reproducibilidad intermedia

Repetibilidad

Tabla 3.
Medidas para repetibilidad

Medidas	Estándar bajo (0.060 mg/L)	Estándar medio (0.120 mg/L)	Estándar alto (0.260 mg/L)
1	0.061	0.119	0.249
2	0.059	0.119	0.251
3	0.058	0.118	0.252
$\bar{X}$	0.059	0.119	0.251
S	1.230E-03	9.030E-04	1.527E-03
%CV	2.100	0.760	0.610

Fuente: elaboración propia

Exactitud

Porcentaje error

Se realizaron en total nueve mediciones a tres niveles de concentración obteniéndose los siguientes porcentajes de error.

Tabla 4.
Medidas para hallar el porcentaje de error

Medidas	Estándar bajo (0.060 mg/L)	Estándar medio (0.120 mg/L)	Estándar alto (0.260 mg/L)
1	0.061	0.119	0.249
2	0.059	0.119	0.251
3	0.058	0.118	0.252
$\bar{X}$	0.059	0.119	0.251
S	1.230E-03	9.030E-04	1.527E-03
%E	1.300	1.200	3.610

Fuente: elaboración propia

Incertidumbre

El cálculo y estimación de la incertidumbre de medición para reportar los resultados en la implementación del método se presentan en el ANEXO D.

Tabla 5.

Incertidumbre a nivel bajo, medio y alto

Reporte de incertidumbre	
Rango bajo	0.060 ± 0.011
Rango medio	0.120 ± 0.009
Rango alto	0.260 ± 0.011

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Se validó el método de Eriocromo Cianina R útil para la determinación de aluminio en muestras de agua mediante espectrofotometría Visible, en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del SENA, proporcionando valores en los parámetros de validación como son linealidad, exactitud, precisión dentro de niveles permitidos y evidenciando que el método puede ser aplicado bajo las condiciones operativas del laboratorio. Sin embargo, es necesario reconsiderar la forma de hallar el límite de cuantificación del método.

El método de eriocromo cianina R es adecuado para determinar concentraciones de aluminio en el rango de 0.06-0.3 mg/L, pero para concentraciones inferiores a estas no es adecuado, por lo cual se recomienda revalidar el método y escoger el primer punto de la curva de calibrado como límite de cuantificación. Además, se recomienda

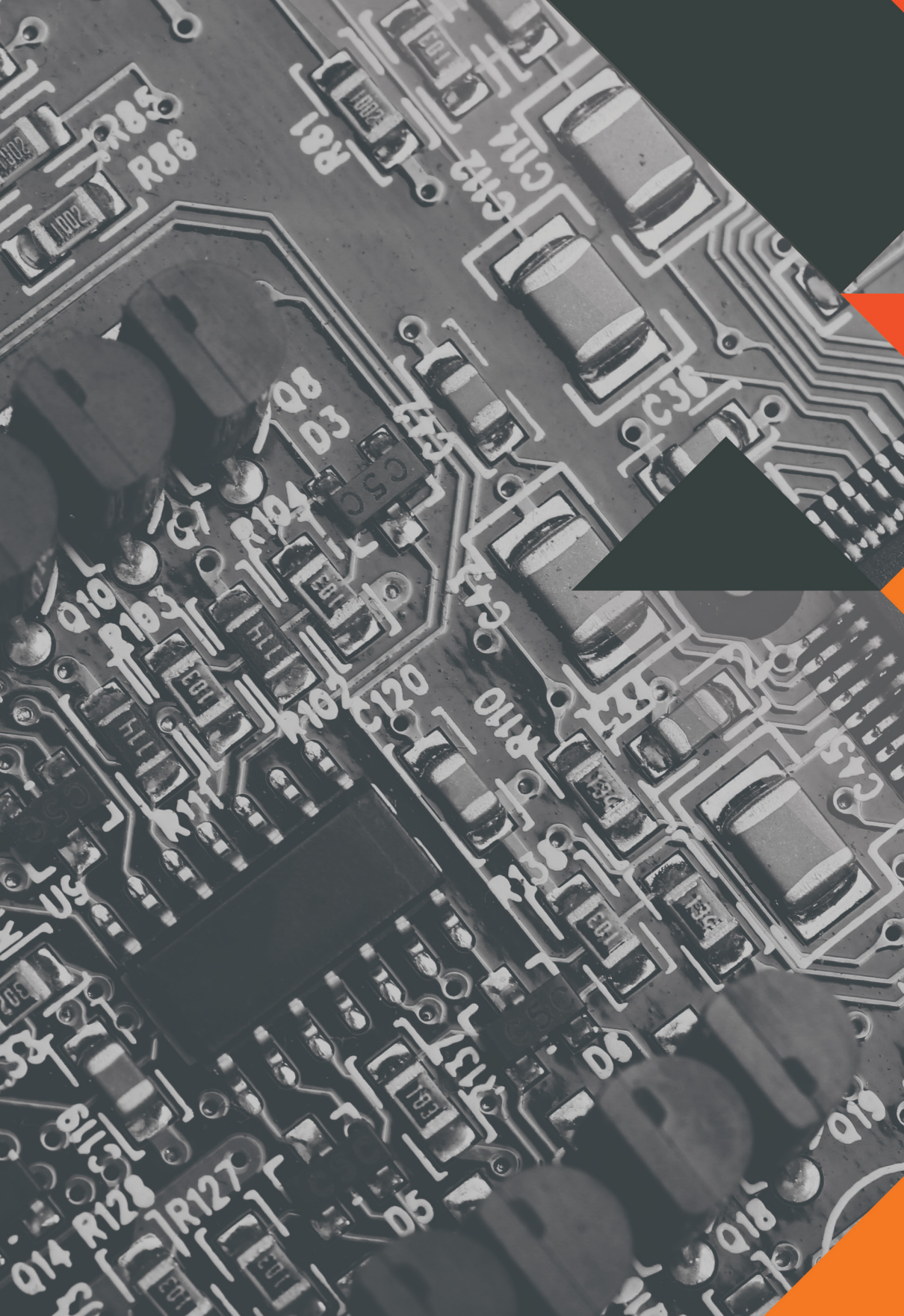
que la primera concentración de la curva de calibrado sea más baja que 0.06 mg/L.

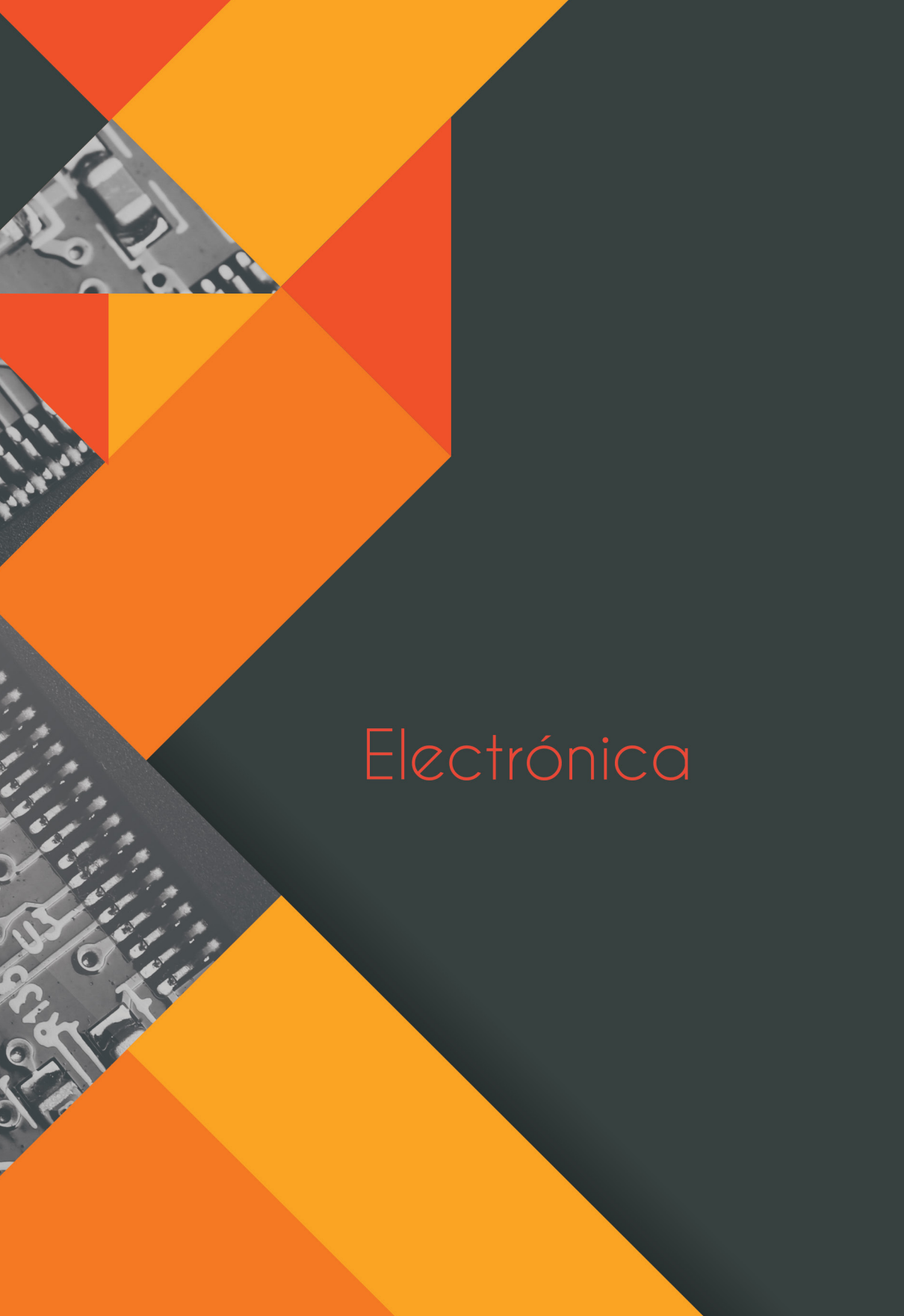
La aplicación del método espectrofotométrico se llevó a cabo con una muestra de agua potable de un filtro del SENA, proporcionando resultados repetibles, pero por debajo del primer punto de la curva de calibrada propuesta, así que no fue posible calcular su concentración real con certeza.

REFERENCIAS

- APWA AWWA WPCF. (2012). Métodos estándares para la examinación de agua y agua residuales. Ed 22. Washington.
- Al-kindy, S. M. Z., Al-hinai, A., Al-rasbi, N. K., Suliman, F. E. O., & Al-lawati, H. J. (2015). Determinación espectrofluorimétrica de aluminio en muestras de agua usando N-((2-hidroxinaftalen-1-il) metileno) acetilhidrazida. *Investigación Integrativa de Medicina*, 9(4), 601–609. <http://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.03.009>.
- Brack, W., Dulio, V., Ågerstrand, M., Allan, I., Altenburger, R., Brinkmann, M., Vrana, B. (2017). Revisión de la directiva sobre el agua de la Unión Europea: Recomendaciones para una evaluación y gestión más eficientes de la contaminación química en los recursos hídricos superficiales europeos. *La ciencia del medio ambiente total*. 576, 720–737. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.104>.
- Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas

- usando coagulantes polimerizados: Caso de hidroxiclورو de aluminio. Dyna.78(165).18-27. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>
- Eurolab España.P.PMorillas y colaboradores. (2016). Guía Eurachem:La adecuación al uso de los métodos analíticos-Una guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados.www.eurachem.org.
- Fernandez, R. (2012). Contaminación con aluminio en sangre en personas dializadas en dos hospitales de Colombia.Costarr Salud Pública. 21(2).58-64. <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v21n2/art03v21n2.pdf>
- Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2007). Resolución 2115 .22 de junio de 2007.
- Organismo nacional de acreditación en Colombia(ONAC). (2010). La Acreditación en Colombia. Recuperado en: http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DocumentosPDFDescarga/cartilla_acreditacion.pdf Organización internacional de normalización/ Comisión electrónica internacional(ISO/ IEC). (S.f). ISO/IEC 17025:2005. Plataforma de navegación. Recuperado en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:isoiec:17025:ed-2:v1:es>Ranaa, S., Mittal, S., Singhb, N., Singhb, J Banks, C. (2017). Electrodo de pantalla impresa base modificada Schiff para la determinación selectiva de aluminio en nivel de trazas. Sensores y actuadores: química. 239 .17–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.133>





Electrónica



HARDWARE PARA UNA PRUEBA PROBABILÍSTICA DE PRIMALIDAD

HARDWARE FOR A PRIMALITY PROBABILISTIC TEST

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1941>

Recibido: 12.12.2018 Aceptado: 09.05.2019

Rodrigo Alberto Llorente Triana

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

rallorentet@sena.edu.co

Colombia

Iván Londoño

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

ivan.londono@misena.edu.co

Colombia

Para Citar:

Llorente, R., Londoño, I. (2019) Hardware para una prueba probabilística de primalidad, Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 24-38. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1941>

RESUMEN

En este mundo moderno regido por computadoras parece que lo que más tiene valor es la información. El dinero por ejemplo no es más que números en una computadora. Pero sí la información es tan importante mucho más lo es el tener un acceso restringido a la misma. Es de esta necesidad de donde nace la criptografía, ciencia o técnica que se encarga de buscar formas de ocultar la información almacenada o que viaja por las redes públicas a personas no autorizadas. En un principio la criptografía se desarrolló totalmente en software, pero con la necesidad de hacer las comunicaciones cada vez más rápidas pronto surgió la idea de implementar los algoritmos criptográficos en hardware. El trabajo presentado a continuación proviene de la idea de implementar en hardware el más popular de los algoritmos criptográficos de clave pública, el algoritmo RSA. En realidad RSA es demasiado extenso y complejo para ser realizada una implementación hardware de él en un solo trabajo. Por esta razón se dividió el algoritmo en cuatro partes siendo una de ellas la generación de números primos, parte fundamental en RSA y tema principal de este trabajo. Haremos una breve introducción a lo que es la criptografía y nos daremos cuenta de por qué son importantes los números primos para RSA y la manera cómo se deben hallar estos números primos. A diferencia de lo que uno piensa, encontrar números primos es una tarea complicada cuando los números son grandes. La búsqueda de números primos grandes se basa en las pruebas probabilísticas de primalidad, pruebas que no son más que algoritmos que nos dan información acerca de la probabilidad que tiene un número de ser primo, siendo la mejor de ellas la prueba de Miller – Rabin y de la que se hará una implementación hardware en este trabajo.

Palabras clave: FPGA, prueba de primalidad, Miller-Rabin, números primos, RSA, criptografía.

ABSTRAC

In this modern world ruled by computers it seems that what counts most is information. Money, for example, is nothing more than numbers on a computer. But if information is so important, it is much more important to have restricted access to it. It is from this need that cryptography, science or technology that is responsible for finding ways to hide stored or traveling on public networks information to unauthorized persons. At first, cryptography was developed entirely in software, but with the need to make communications faster and faster, the idea of implementing cryptographic algorithms in hardware soon arose. The work presented below comes from the idea of implementing in hardware the most popular cryptographic algorithms of public key, the RSA algorithm. Actually RSA is too extensive and complex to be made a hardware implementation of it in a single job. For this reason, the algorithm was divided into four parts, one of them being the generation of prime numbers, a fundamental part in RSA and the main

theme of this work. We will make a brief introduction to what cryptography is and we will realize why the prime numbers for RSA are important and how these prime numbers should be found. Unlike what one thinks, finding prime numbers is a complicated task when the numbers are large. The search for large prime numbers is based on the probabilistic tests of primality, tests that are nothing more than algorithms that give us information about the probability of having a prime number, the best of which is the Miller - Rabin test. A hardware implementation of this test will be made in this work.

Keywords: FPGA, Primality Test, Miller-Rabin, Prime Numbers, RSA, Cryptography.

INTRODUCCIÓN

Según el diccionario de la Real Academia, la palabra criptografía se define como: “Arte de escribir con clave secreta o de un modo enigmático”. Obviamente la criptografía hace años que dejó de ser un arte para convertirse en una técnica, o más bien un conglomerado de técnicas, que tratan sobre el ocultamiento de la información a observadores no autorizados.

La encriptación se refiere a la transformación de datos en texto claro a datos en texto cifrado, lo cual les da casi imposibilidad de leerlos sin el conocimiento de una “clave”. El recuperar el texto claro del texto cifrado requiere de la clave, proceso que se conoce como desencriptación. Esta clave es información secreta, la privacidad del texto cifrado depende de la privacidad y la longitud dicha clave.

Existen dos tipos fundamentales de criptosistemas: simétricos o de clave secreta, y asimétricos o de clave pública. Los criptosistemas simétricos o de clave secreta son aquellos que emplean la misma

clave tanto para encriptar como para desencriptar. Presentan el inconveniente de que para ser empleados en comunicaciones, la clave debe estar tanto en el emisor como en el receptor, lo cual nos lleva a preguntarnos cómo transmitir la clave de forma segura.

Los criptosistemas asimétricos o de clave pública emplean una doble clave, una se conoce como clave privada y la otra como clave pública. Una de ellas sirve para encriptar y la otra para desencriptar. Estos criptosistemas deben cumplir además que el conocimiento de la clave pública no permita calcular la clave privada. Ofrecen un abanico superior de posibilidades, pudiendo emplearse para establecer comunicaciones seguras por canales inseguros, -puesto que únicamente viaja por el canal la clave pública, que solo sirve para encriptar -, o para llevar a cabo autenticaciones.

En la práctica se emplea una combinación de estos dos tipos de criptosistemas. Puesto que los segundos presentan el inconveniente de ser computacionalmente mucho más costosos que los primeros, en el mundo real se encriptan los mensajes (largos)

mediante algoritmos simétricos, que suelen ser muy eficientes, y luego se hace uso de la criptografía asimétrica para encriptar las claves simétricas (cortas).

Entre todos los algoritmos utilizados para los criptosistemas de clave pública, quizá RSA sea el más sencillo de comprender e implementar. Sus claves pública y privada sirven indistintamente tanto para encriptar como para autenticar. Debe su nombre a sus tres inventores: Ronald Rivest, Adi Shamir y Leonard Adleman, y estuvo bajo patente de los laboratorios RSA hasta el 20 de septiembre de 2000, por lo que su uso comercial estuvo restringido hasta esa fecha.

RSA se basa en la dificultad para factorizar grandes números. Las claves pública y privada se calculan a partir de un número que se obtiene como producto de dos primos grandes. El atacante se enfrentará, si quiere recuperar el texto legible a partir de su correspondiente ilegible y la clave pública, a un problema de factorización.

Los fundamentos matemáticos del algoritmo RSA plantean la necesidad del uso de dos números primos como parte esencial de la generación de las claves. A primera vista conseguir números primos parece una tarea fácil, pero en realidad es mucho más complicada de lo que uno puede imaginar cuando los números primos son muy grandes.

Por otra parte, el método utilizado para encontrar números primos grandes debe ser razonablemente eficiente; pero si factorizar

números grandes es difícil -recordemos que en este principio se basa la seguridad de RSA- ¿cómo podríamos generar números primos de una manera sencilla? El truco está en que responder la pregunta: ¿es n primo?, es mucho más fácil que responder: ¿cuáles son los factores primos de n ?

MATERIALES Y MÉTODOS

La manera incorrecta de encontrar números primos es generar un número al azar y luego hacer esfuerzos por factorizarlo, factorización que se puede conseguir comprobando si n es divisible por cualquier número p. primo $\leq \sqrt{n}$. En la práctica se necesitan métodos mucho más eficientes para encontrar números primos. La manera correcta es generar un número al azar y probar si lo es, si no lo es, volver a generar otro número y repetir la prueba hasta que se consiga uno que lo sea.

Consideremos la primera aproximación a la solución del problema [1]:

1. Generar al azar un número impar y del tamaño apropiado.
2. Hacerle una prueba de primalidad
3. Si es compuesto, regresar al primer paso.

Una ligera modificación es considerar candidatos restringidos a alguna búsqueda secuencial comenzando desde n ; puede ser usada una búsqueda secuencial trivial tal como n , $n+2$, $n+4$... etc.; la búsqueda secuencial tiene ventajas.

En el paso 2, la prueba de primalidad podría ser una que pruebe que el candidato es primo (caso en el que el resultado del generador es llamado un primo comprobable), o una prueba que establezca un resultado débil, tal como que n es “probablemente primo” (en tal caso se dice que el resultado del generador es un probable primo).

En este último caso deben ser dadas cuidadosas consideraciones al significado exacto de esta expresión. Muchas pruebas, llamadas pruebas probabilísticas de primalidad, son totalmente correctas cuando declaran que un candidato n es compuesto, pero cuando lo declaran “probablemente primo” no dan una prueba matemática de que n es primo. Sin embargo, cuando uno usa apropiadamente el último caso, frecuentemente puede sacar conclusiones más que apropiadas para sus propósitos. Por esta razón, dichas pruebas son llamadas más apropiadamente pruebas de composición que pruebas probabilísticas de primalidad. También existen pruebas de primalidad las cuales le permiten a uno concluir con total certidumbre matemática que un número n es primo, pero generalmente requieren considerablemente grandes recursos computacionales.

Pruebas probabilísticas de primalidad

Las pruebas probabilísticas de primalidad son métodos mediante los cuales se prueban enteros positivos arbitrarios, para obtener información parcial respecto de su primalidad [1]. Específicamente, las

pruebas probabilísticas de primalidad tiene el siguiente marco teórico:

Para cada entero positivo e impar n , se define un conjunto $W(n) \subset Z_n$ tal que sean válidas las siguientes propiedades:

1. Dado $a \in Z_n$, puede ser probado en tiempo polinomial determinístico si $a \in W(n)$;
2. Si n es primo, entonces $W(n) = \emptyset$ (conjunto vacío); y
3. Si n es compuesto, entonces $\# W(n) \geq \frac{n}{2}$.

Si n es compuesto, los elementos de $W(n)$ son llamados *testigos* de la composición de n y los elementos del conjunto complementario $L(n) = Z(n) - W(n)$ son llamados *mentirosos* o *cómplices*.

Una prueba probabilística de primalidad utiliza estas propiedades de los conjuntos $W(n)$ de la siguiente manera. Suponga que n es un número cuya primalidad está en cuestión. Se elige al azar un entero $a \in Z_n$, y se prueba si $a \in W(n)$. La prueba responde “compuesto” si $a \in W(n)$ o responde “primo” si $a \notin W(n)$. Si realmente $a \in W(n)$, entonces se dice que n falla la prueba de primalidad para la base a ; en tal caso, n es sin duda compuesto. Si $a \notin W(n)$, entonces se dice que n pasa la prueba de primalidad para la base a ; en este caso, ninguna conclusión puede ser obtenida con absoluta certeza acerca de la primalidad de n , y la declaración “primo” puede ser incorrecta.

En este punto se puede ver claramente porque una prueba probabilística de primalidad es llamada más apropiadamente, prueba de *composición*.

Cualquier ejecución de la prueba que declare “compuesto”, establecerá esto con certeza; por otra parte, todas las ejecuciones independientes y sucesivas de la prueba, las cuales declaren “primo”, dan un nivel de confianza de que la entrada es un primo, nivel que se puede elevar al valor que se desee. Por ser las ejecuciones de la prueba hechos independientes, la probabilidad acumulativa de error es multiplicativa. Si la prueba es corrida independientemente t veces, para el mismo número compuesto n , la probabilidad de que sea declarado “primo” todas las t veces, es decir la probabilidad de error, es a lo sumo $1/2^t$.

Se le llama *probable primo* a un entero n , del cual se piensa que es primo basándose en pruebas probabilísticas de primalidad. La prueba probabilística de primalidad más usada en la práctica es la prueba de Miller – Rabin, también conocida como la prueba del seudoprimeo fuerte [1].

Búsqueda aleatoria de números primos

Por el teorema de los números primos, la proporción de enteros positivos $\leq x$ que son primos es aproximadamente $1/\ln x$. Dado que la mitad de todos los enteros $\leq x$ son pares, la proporción de enteros impares $\leq x$ que son primos es aproxima-

damente $2/\ln x$. Por ejemplo, la proporción de todos los enteros impares $\leq 2^{512}$ que son primos es aproximadamente $2/(512 \times \ln 2) \approx 1/177$. Esto sugiere que una estrategia razonable para seleccionar un probable primo aleatorio de k bits es escoger repetidamente al azar enteros n impares de k bits hasta que sea encontrado uno que sea declarado “primo” por **MILLER – RABIN** (n, t) para un valor apropiado del parámetro de seguridad t . [1]

Sí un entero n , aleatorio, impar y de k bits es divisible por un pequeño primo, entonces es menos costoso computacionalmente hablando, descartar el candidato n por la prueba de la división que usando la prueba de Miller – Rabin.

Dado que es relativamente grande la probabilidad de que un entero aleatorio n tenga un pequeño divisor primo, antes de aplicar la prueba de Miller – Rabin, el candidato n debe probarse para pequeños divisores que se encuentren bajo un límite B predeterminado. Esto se puede conseguir dividiendo n por todos los primos abajo de B , o calculando los máximos comunes divisores de n y de los productos de varios de los primos $\leq B$. La proporción de candidatos enteros e impares n no descartados por la prueba de la división es $\prod_{3 \leq p \leq B} \left(1 - \frac{1}{p}\right)$ la cual, por el teorema de Mertens, es aproximadamente $1.12/\ln B$ (aquí p fluctúa sobre valores primos). Por ejemplo, sí $B = 256$, entonces solo el 20 % de los candidatos n enteros e impares, pasan la prueba de la división, es decir, el 80 % son descartados

antes de que sea desarrollada la prueba de Miller – Rabin que es más costosa. La Tabla 1 muestra el algoritmo para la búsqueda aleatoria de números primos usando la prueba de Miller-Rabin.

Tabla 1.

Búsqueda aleatoria de un primo usando la prueba de Miller – Rabin

BÚSQUEDA ALEATORIA (k, t)

ENTRADA: un entero k , y un parámetro de seguridad t .

SALIDA: un probable primo de k bits aleatorio.

1. Generar aleatoriamente un entero n impar y de k bits.
2. Usar la prueba de la división para determinar si n es divisible por algún impar primo $\leq B$. Si es así regresar al paso 1.
3. Si MILLER – RABIN (n, t) devuelve “primo” entonces devolver (n).

De lo contrario, regresar al paso 1.

Fuente: Referencia [1]

Una técnica alternativa a generar candidatos n al azar en el paso 1 del algoritmo *Búsqueda Aleatoria*, es seleccionar primero un número n_0 aleatorio, impar y de k bits, y entonces probar los s números $n = n_0, n_0 + 2, n_0 + 4, \dots, n_0 + 2(s-1)$ para primalidad. Si son encontrados compuestos todos los s candidatos, se dice que el algoritmo ha fallado.

Prueba de Miller-Rabin

El pseudocódigo para la prueba es el siguiente: [2]

Tabla 2

Prueba de Miller – Rabin en su forma binaria

MILLER – RABIN (n, t)

ENTRADA: un entero impar $n \geq 3$ y un parámetro de seguridad $t \geq 1$

SALIDA: una respuesta “primo” o “compuesto” a la pregunta: “¿es n primo?”

Para $i \leftarrow 1$ hasta t haga:

$a \leftarrow \text{RANDOM}(1, n-1)$

Si TESTIGO (a, n) entonces:

devuelva “compuesto”

Devuelva “primo”

Fuente: Referencia [2]

El algoritmo requiere de una función $\text{RANDOM}(1, n-1)$, la cual devuelve un entero a elegido al azar, tal que $1 \leq a \leq n-1$. El parámetro de seguridad t es la cantidad de intentos que se deben hacer por buscar un testigo de la composición de n .

La función auxiliar TESTIGO (a, n), devuelve “cierto” si es posible construir con base en a una prueba de que n es compuesto. La prueba TESTIGO (a, n) es similar a $a^{n-1} \not\equiv 1 \pmod{n}$, pero más

efectiva. El algoritmo en la Tabla 3 la enseña. [2]

Las líneas que se encuentran dentro del lazo, básicamente calculan $d = a^{n-1} \bmod n$. Se puede observar que para cada bit se realiza como mínimo una multiplicación modular y adicionalmente, si el bit es 1, se realiza otra multiplicación modular. El secreto detrás de TESTIGO es la búsqueda de raíces cuadradas no triviales de 1 módulo n que realiza en cada iteración. Obsérvese que cada valor de d (el acumulado de la exponenciación) es almacenado en x de tal forma que, en el paso siguiente a la elevación de d al cuadrado, se pueda comprobar si x es una raíz cuadrada no trivial de 1 módulo n .

Las últimas tres líneas devuelven “cierto” si el valor calculado para $a^{n-1} \bmod n$ no es igual a 1.

Demostremos ahora que una prueba de que n es compuesto puede ser construida usando a . Si TESTIGO (a, n) devuelve “cierto” (en la instrucción que no está dentro del ciclo), entonces éste ha descubierto que $d = a^{n-1} \bmod n \neq 1$. Si n es primo, sin embargo, tenemos por el teorema de Fermat que $a^{n-1} \equiv 1 \bmod n$ para toda $a \in \mathbb{Z}_n^+$. Por lo tanto, n no puede ser primo y la ecuación $a^{n-1} \bmod n \neq 1$ es una prueba de este hecho.

Tabla 3

Algoritmo para Testigo

TESTIGO (a, n)

ENTRADA: un entero impar $n \geq 3$ y un número entero a generado al azar.

$$n-1 = b_k b_{k-1} \dots b_0$$

SALIDA: una respuesta “cierto” o “falso” a la pregunta: “¿ a es un testigo de la composición de n ”?

$$d \leftarrow 1$$

Para $i \leftarrow k$ hasta 0 haga:

$$x \leftarrow d$$

$$d \leftarrow (d \cdot d) \bmod n$$

Sí $d = 1$ y $x \neq 1$ y $x \neq n-1$ entonces:
devuelva “cierto”

Sí $b_i = 1$ entonces:

$$d \leftarrow (d \cdot a) \bmod n$$

Sí $d \neq 1$ entonces:

devuelva “cierto”

Devuelva “falso”

Fuente: Referencia [2]

Sí TESTIGO devuelve “cierto” en la instrucción que está dentro del ciclo, entonces ha descubierto que x es una raíz cuadrada no trivial de 1, módulo n , dado que tenemos que x no es congruente con $\pm 1 \bmod n$, y sin embargo $x^2 \equiv 1 \bmod n$. Existe un corolario que dice que sólo si n es compuesto puede existir una raíz cuadrada no trivial de 1 módulo n , así que una demostración de que x es una raíz cuadrada no trivial de 1 módulo n es una prueba de que n es compuesto.

Esto completa nuestra prueba de la validez de TESTIGO. Sí la invocación de TESTIGO (a, n) devuelve “cierto”, entonces n es realmente compuesto y puede ser fácilmente determinada una prueba de que n es compuesto a partir de a y n . El procedimiento MILLER - RABIN es una búsqueda probabilística de que n es compuesto. Sí alguno de los a escogidos es un testigo de la composición de n entonces MILLER - RABIN devuelve “compuesto”. Tal respuesta es siempre correcta, debido a la validez de TESTIGO. Sí no son encontrados testigos en los t intentos, MILLER - RABIN asume que esto es porque no hay testigos, y n es por lo tanto primo. Esta respuesta es probablemente correcta si t es lo suficientemente grande, sin embargo hay una pequeña probabilidad de que el procedimiento haya sido desafortunado en las selecciones de a y de que existan testigos aunque no haya sido escogido ninguno.

Implementación hardware

En el algoritmo “*Búsqueda aleatoria de un primo usando la prueba de Miller – Rabin*” no introducimos la búsqueda incremental, la cual consiste en aumentar el número n si falla, en dos unidades en lugar de generar otro al azar. La búsqueda incremental se basa en el teorema de los números primos, el cual dice que la proporción de enteros positivos $\leq n$ que son primos es aproximadamente $1 / \ln n$. Dado que la mitad de todos los enteros $\leq n$ son pares, la proporción de enteros impares $\leq n$ que son primos es aproximadamente $2 / \ln n$. Esto tiene ciertas ventajas que se traducen en la aceleración del proceso de búsqueda de n .

Escribamos de nuevo el algoritmo introduciendo esta modificación para observar cómo lo llevaremos al hardware:

1. Generar un número aleatorio n , de tamaño igual o menor a k bits.
2. Poner a 1 el bit más significativo - garantizamos que el número es de - y el menos significativo - debe ser impar para poder ser primo-.
3. Para $i \leftarrow 1$ hasta t haga:

Generar un número aleatorio a entre 1 y $n - 1$

Si WITNESS $(a, n) \Rightarrow$
COMPUESTO

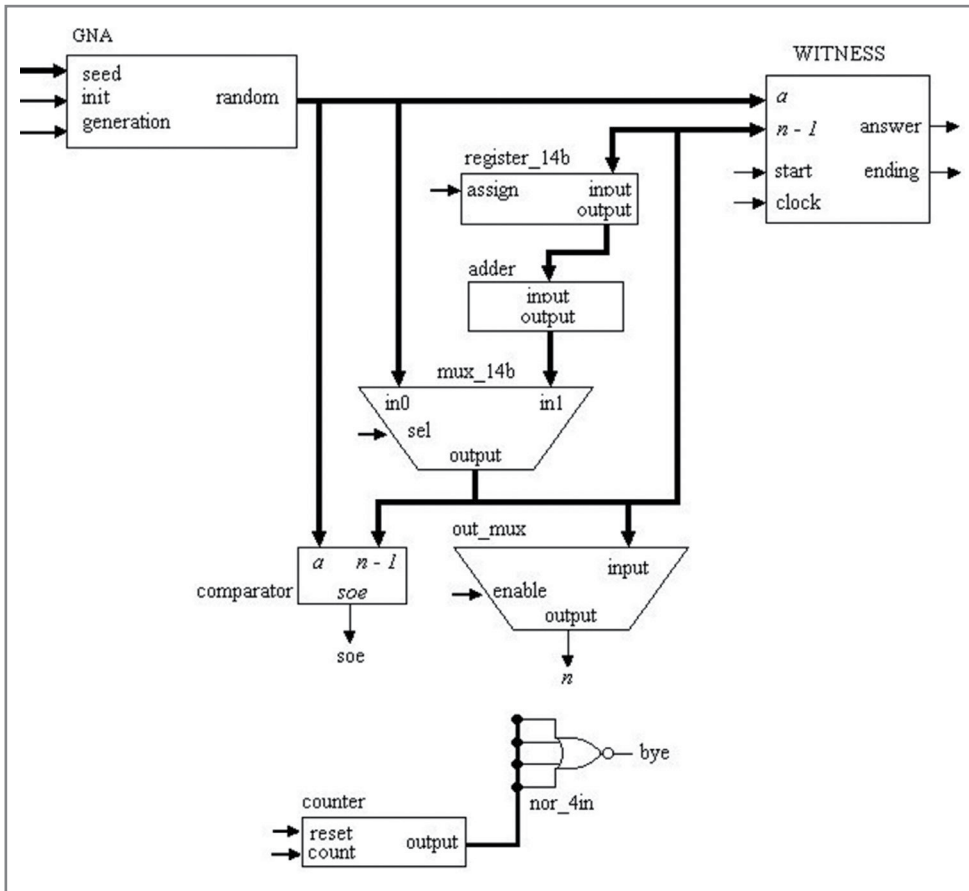


Figura 2. El sistema total (WITNESS se muestra como un bloque por razones de espacio)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo el sistema completo sólo nos resta simular para observar los diferentes tiempos de búsqueda de un número primo aleatorio. Antes de mostrar los resultados obtenidos hagamos un cálculo aproximado de cuánto tiempo promediará el sistema en encontrar un número primo aleatorio para diferente número de bits.

El sistema básicamente lo que hace es tomar un número aleatorio n de k

bits, luego busca un número a menor que n y trata de calcular $a^{n-1} \bmod n$, la exponenciación puede que se realice toda pero también puede que no, es decir si el sistema encuentra una raíz no trivial, de inmediato suspende la exponenciación y descarta el número por ser compuesto. En general la mayor parte del tiempo el sistema realiza toda la exponenciación para poder descartar el número. Ahora, el sistema está diseñado para que pruebe el número 5 veces, o sea que realiza 5 exponenciaciones si ha encontrado un número probablemente primo.

La Tabla 4 lista la cantidad de ciclos empleados por el multiplicador modular para realizar una sola multiplicación para diferente número de bits [3].

Tabla 4

Ciclos empleados por el multiplicador modular para una multiplicación

bits	ciclos
16	12
32	20
64	36

Fuente: Elaboración propia

En general si k es el número de bits y $k \geq 8$ entonces el número de ciclos empleados por el multiplicador modular para realizar una multiplicación es:

$$6 + \sum_{i=3}^{\log_2 k} 2^{i-2}$$

Por otra parte la cantidad de multiplicaciones que se realicen en una exponenciación depende de la cantidad de unos que posea el exponente, es decir $n-1$. Se realizan k multiplicaciones más 1 por cada uno que posea el exponente. Si consideramos que el número con menos unos que se puede presentar es el número que solo tenga un 1 en el MSB y que el número que más unos puede tener es el que posea todos sus bits a 1 excepto – obviamente- el LSB que siempre es cero ya que estamos hablando de $n-1$, podemos deducir entonces que la cantidad de multiplicaciones promedio que se realizan en una exponenciación es:

$$\text{cantidad de multiplicaciones} = \frac{(k+1) + (k+k-1)}{2} \quad \text{ó}$$

$$\text{cantidad de multiplicaciones} = \frac{3}{2}k$$

Solo resta saber cuántas exponenciaciones debemos hacer antes de encontrar un probable primo. La respuesta la podemos encontrar fácilmente si recordamos dos cosas: (1) la probabilidad de que Miller-Rabin descarte un número por ser compuesto en el primer intento es del 75%, por eso podemos asumir que los números que no sean primos serán descartados con solo una exponenciación; (2) según el teorema de los números primos, dichos números están espaciados con un intervalo de $1/\ln$ es decir encontraremos un número primo cada $\ln n$ números, donde n es el número alrededor del cual estamos buscando. También sabemos que para que n sea primo, n debe ser impar, o sea que la cantidad a descartar se reduce a la mitad, es decir $[(\ln n)/2]-1$ o expresado en la cantidad de bits k , $[(\ln 2^k)/2]-1$. La cifra anterior más las 5 veces que el sistema prueba el número ($t=5$) dan como resultado el número promedio de exponenciaciones que se realizan.

Con todas estas deducciones podemos decir que el sistema empleará un tiempo igual a la cantidad de exponenciaciones promedio multiplicada por la cantidad de multiplicaciones promedio para cada exponenciación multiplicado por la cantidad de ciclos necesarios para cada multiplicación multiplicado por el periodo mínimo (ciclo) que se necesita en el sistema, periodo que está en función del número de bits k y que se lista en la tabla 5.

Tabla 5

Mínimo periodo del sistema total necesitado en función del número de bits.

bits	T(ns)
16	83.6
32	175.9
64	364.9

Fuente: Elaboración propia

Así, para k bits tenemos que el tiempo de búsqueda es:

$$tiempo = \{[(\ln 2^k)/2] - 1 + 5\} \times \frac{1}{2} k \times \left(6 + \sum_{i=3}^{\log_2 k} 2^{i-2}\right) \times periodo \quad \text{para } k \geq 8$$

Sí k es igual a **16, 32 y 64** bits los tiempos serán respectivamente: **229.82 μ s**, **2.548 ms** y **33.016 ms**.

Se realizaron simulaciones para 16 y 32 bits, para 64 bits se intentó realizar simulaciones pero el tiempo de la simulación fue alto.

Tabla 6

Números encontrados y tiempos de búsqueda simulados para números de 16 bits

Semilla	Número encontrado	tiempo (μ s)
1	32779	211.14
3449	39671	208.80
10348	53479	321.66
13797	60373	313.80
17246	34499	180.21
20695	41399	255.61
24144	48299	267.82
27594	55201	302.10
31043	62099	324.00
34492	36187	194.59
37941	43093	330.69

Continuación tabla 6

Semilla	Número encontrado	tiempo (μ s)
41391	50047	340.38
44840	56963	194.59
48289	63857	168.84
55187	44819	260.96
58637	51769	157.13
62086	58661	157.13
65535	65497	261.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Números encontrados y tiempos de búsqueda simulados para números de 32 bits.

Semilla	Número encontrado	tiempo (ms)
1	2147 483 659	1.218
0D79 435E	2599 585 477	1.394
1AF2 86BC	3051 687 307	2.441
286B CA1A	3503 789 129	2.574
35B5 0D78	3955 890 947	2.479
435E 50D6	2260 509 113	1.796
50D7 9434	2712 610 939	2.417
5E50 D792	3164 712 769	3.500
6BCA 1AF0	3616 814 573	1.893
7943 5E4E	4068 916 403	2.882
86BC A1AC	2373 534 637	2.206
9435 E50A	2825 636 573	1.858
A1AF 2868	3277 738 103	10.221
AF28 6BC6	3729 839 999	6.343
BCA1 AF24	4181 941 937	4.382
CA1A F282	2486 560 217	3.047
D794 35E0	2938 661 651	1.993
E50D 793E	3390 763 709	1.037
F286 BC9C	3842 865 673	1.761
FFFF FFFA	4294 967 111	3.446

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8*Números encontrados y tiempos de búsqueda simulados para números de 64 bits.*

<i>Semilla</i>	<i>Número encontrado</i>	<i>tiempo (ms)</i>
1	8000 0000 0000 001D	17.078
435E 50D7 9435 E509	86BC 8003 2800 026B	66.810

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos promedio de las anteriores tablas son presentados en la Tabla 9.

Tabla 9*Tiempo de búsqueda promedio para diferente número de bits.*

<i>bits</i>	<i>Tiempo promedio</i>
16	247.29 μ s
32	2.232 ms
64	No calculado

Fuente: Elaboración propia

Observemos que los tiempos obtenidos en las simulaciones son bastante cercanos a los calculados anteriormente por deducción.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado hace parte de un intento inicial por desarrollar el algoritmo RSA en su totalidad para una posterior implementación en arquitecturas reconfigurables. Es decir, se tomó RSA y se dividió en cuatro partes: la multiplicación modular, la exponenciación modular, el cálculo del inverso multiplicativo y la generación de números primos, restando solamente un trabajo final en el cual se integrarían los mencionados anteriormente y donde se dé un verdadero cuerpo al sistema total.

RSA es el algoritmo más popular en la criptografía de clave pública y uno de

los más usados, reconocimiento que no ha sido gratis sino que lo ha ganado a través de veinte años sosteniéndose ante ataques de todo tipo como los que puede realizar una comunidad tan grande y tan experta como Internet. Sin embargo RSA no es perfecto y tiene su principal dolencia en la cantidad de bits necesitados por la clave para hacer de éste un sistema seguro. En la actualidad RSA recomienda una longitud de clave no menor de 1024 bits y para casos militares de 2048 bits. Es precisamente esta característica la que hace a RSA un sistema “pesado” y poco recomendable para ser implementado en FPGAs. En el trabajo realizado con la generación de números primos se duplicó el número de celdas en la FPGA cuando se duplicó el número de bits del sistema. Lastimosamente no se pudo hacer pruebas para una cantidad de bits superior a 32, pero la impresión que dejaron las simulaciones acerca del espacio y del retardo de tiempo no es muy prometedora como para intentar extenderlo a un número de bits que brinde una seguridad aceptable. Recordemos que la generación de números primos es sólo una parte del algoritmo RSA y que aún faltarían otros cuatro trabajos para implementar totalmente RSA.

Volviendo con el tema del retardo, tengamos en cuenta que la criptografía tiene

que ver principalmente con el intercambio de información, y que la información demanda la mayor velocidad posible de transmisión. Es por esta razón que a la hora de intentar implementar un algoritmo criptográfico debemos buscar que éste sea lo más rápido posible sin olvidarnos de que debe ser poco costoso, hablando en términos de hardware. Para poder cumplir con estas dos exigencias debemos pensar en un cambio de algoritmo, uno que demande un menor número de bits en su clave para obtener una buena seguridad. Por otra parte el conocimiento profundo, detallado, milimétrico, de la arquitectura en la cual se desea implementar (en este caso FPGAs) es fundamental para cumplir los objetivos de ahorro de espacio e incremento de la velocidad de ejecución. Sí bien es cierto el amarrarse con una familia o marca específica de FPGA hace perder portabilidad, la portabilidad no es un objetivo principal ni es algo tan importante como la velocidad del sistema o el tamaño de la tarjeta donde se encuentre.

Por último, la principal tarea que debemos realizar antes de diseñar, es descartar las opciones que no nos sirven y que podemos ver a primera vista o después de un pequeño análisis. Como ejemplo tomemos las pruebas probabilísticas de primalidad, en principio podemos pensar en realizar el diseño hardware de todas y luego escoger cual es la mejor, pero sí nos damos cuenta que son algoritmos y que un algoritmo que podemos descartar frente a otro siempre será peor que el primero tanto en software como en hardware, entonces podremos ahorrar tiempo y esfuerzo.

REFERENCIAS

- [1] MENEZES, Alfred J.; VAN OORSCHOT, Paul C.; y VANSTONE, Scott A. (1996) Handbook of Applied Cryptography. CRC Press.
- [2] CORMEN, T.; LEISERSON, C.; y RIVEST, R. (1990) Introduction to Algorithms. Cambridge, MA; MIT Press.
- [3] PALACIOS, Rubén Darío. (2001) Diseño e implementación en FPGAs de un multiplicador modular de 32 bits. Trabajo de grado en Ingeniería Electrónica. Universidad del Valle.
- [4] NELSON, Victor P.; NAGLE, H. Troy; CARROL, Hill D.; IRWIN, J. David. (1996) Análisis y Diseño de Circuitos Lógicos Digitales. Prentice-Hall.
- [5] WAKERLY, John F. (1992) Diseño Digital Principios y Prácticas. Prentice-Hall.
- [6] Página web de RSA. www.rsa.com.



The background of the page is a dark gray. On the left side, there is a vertical strip containing several overlapping triangles in shades of orange and yellow. Interspersed within these triangles are grayscale images of biological structures, including what appears to be a textured surface and a cluster of small, rounded, interconnected shapes.

Biotechnología



NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1940>

Recibido: 12.12.2018 Aceptado: 09.05.2019

Diana Marcela Gómez Mejía

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

dimargome@misena.edu.co

Colombia

Para Citar:

Gómez, D., (2019) Nanotecnología en la Industria Alimentaria. Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 42-51. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1940>

RESUMEN

La nanotecnología como ciencia que estudia y manipula átomos a una escala nanométrica, tiene una amplia gama de aplicaciones entre ellas en el área de los alimentos. Se ha encontrado que las moléculas a una nanoescala están siendo utilizadas para reducir olores, cambiar apariencia, mejorar texturas, sabores, permitiendo productos más saludables, y menos perecederos que alargan la vida útil, detectando y neutralizando microorganismos, aditivos, fármacos, toxinas y también en el desarrollo de envases o etiquetas inteligentes. En esta vigilancia se muestran algunas de las tendencias actuales y futuras aplicaciones en el campo de los alimentos, se realiza una comparación entre la producción científica en el área de nanotecnología y nanotecnología en alimentos a través del análisis bibliométrico de SCOPUS y una revisión de patentes en WIPO Patentscope. Con esta revisión se pretende abrir temáticas de estudio en las líneas de investigación de semilleros y grupos en el SENA Regional Risaralda

Palabras claves: Agroquímicos, materiales inteligentes, nanoemulsión, nanoencapsulación, nanonutrientes.

ABSTRACT

Nanotechnology as a science that studies and manipulates atoms on a nanometric scale has a wide range of applications among them in the area of food. It has been found that the molecules at a nanoscale are being used to reduce odors, change appearance, improve textures, flavors, allowing healthier, and less perishable products that lengthen the shelf life, detecting and neutralizing microorganisms, additives, drugs, toxins and also in the development of packaging or smart labels. This monitoring shows some of the current trends and future applications in the field of food, a comparison is made between the scientific production in the area of nanotechnology and nanotechnology in food through the bibliometric analysis of SCOPUS and a review of patents in WIPO Patentscope. This review aims to open thematic of study in the research lines of seedbeds and groups in the Regional SENA Risaralda

Keywords: Agrochemicals, intelligent materials, nanoemulsion, nanoencapsulation, nanonutrients.

INTRODUCCIÓN

El prefijo “nano” se refiere a la posibilidad de conocer los fundamentos y propiedades de objetos (Nanociencia) y diseñar objetos o dispositivos con funciones específicas (Nanotecnología) cuyas dimensiones son de unos pocos nanómetros, nanómetro (nm) unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un milímetro (Domingo, s.f.) se define en conjunto como, “ la investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular y supramolecular destinados a proporcionar entendimiento fundamental de los fenómenos y los materiales en la nanoescala (1-100 nm) y poder así crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas que presenten nuevas propiedades y funciones debido a su tamaño pequeño o intermedio”.

Los seres humanos están expuestos a las nanopartículas de forma natural en el día a día y esto ha sido así desde siempre. Por ejemplo, el proceso de digestión que tiene lugar en los intestinos descompone los alimentos en nanopartículas para que se puedan absorber los nutrientes de los alimentos que se ingieren. Tanto las nanopartículas que se dan de forma natural como aquellas que se incorporan durante el procesamiento tradicional de los alimentos (triturado, molienda) han estado presentes en los alimentos durante muchos años. Por ejemplo, algunos alimentos tienen una nanoestructuras que no se ve a simple vista (como la mayonesa, que es una emulsión de partículas diminutas de aceite y agua que se mantienen unidas, sin separarse). (Alimentación, 2017)

La aplicación de la nanotecnología en los alimentos usa nanomateriales, nanopartículas o nanoestructuras, que pueden ser utilizadas en alimentos, desde el cultivo, el procesamiento, el envasado, el transporte, la vida útil y la biodisponibilidad de los nutrientes. El hecho de que las nanopartículas tengan un tamaño tan pequeño, hacen que las propiedades físicas y químicas sean diferentes a las que presenta el mismo material a mayor escala, por esta capacidad ventajosa, pueden aportar mejores propiedades.

MATERIALES Y MÉTODOS



Ilustración 1 Ciclo Vigilancia Tecnológica SENA

Tabla 1

Delimitación y alcance Fuente: Instituto de Prospectiva, Innovación y Gestión del Conocimiento. Universidad del Valle, 2017

INTERROGACIÓN	EXPRESIÓN METODOLÓGICA
¿Qué tema se va a estudiar?	El uso de la nanotecnología en la industria de alimentos
¿Cuál es el objetivo del estudio?	Identificar oportunidades en el área de la nanotecnología aplicada a los alimentos con el fin de abrir líneas de investigación en los semilleros y grupos de investigación
¿Qué información se debe buscar?	Vigilancia Tecnológica
¿Dónde localizarlas?	Google Scholar, Scielo, Dialnet, Science Direct, Scopus, WIPO patentscope
¿A quién dirigirlas?	Líderes de investigación
¿Cómo comunicarlas?	Informe: Documento que contiene todos los elementos de la Vigilancia.

Búsqueda (Bases de datos y fuentes de consulta por tipo de información)

Tabla 2

Base de datos y fuentes de consulta Fuente: Instituto de Prospectiva, Innovación y Gestión del Conocimiento. Universidad del Valle, 2017.

Tipo de Buscador	Descripción	Fuente de Consulta
Bases de Datos Científicas	Publicaciones científicas	Scielo, Dialnet, Science Direct
Buscadores de Patentes	Nanotecnología y alimentos	WIPO Patentscope -SIC
Servicios de Alerta	Nanosensores, aplicaciones de la nanotecnología	Google Alert
Directorios	Documentos científicos y bibliometría	Google Scholar, Scopus
Otros		

Búsqueda (palabras clave)

Tabla 3

Búsqueda palabra clave Fuente: Instituto de Prospectiva, Innovación y Gestión del Conocimiento. Universidad del Valle, 2017

Temática /Variable	Español	Inglés	Tercer Idioma
Palabra Clave 1	Nanotecnología y alimentos	Nanotechnology and foods	N/A
Palabra Clave 2	Nanotecnología y agroquímicos	Nanotechnology and agro-chemicals	N/A

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 4
Contexto y resultados

CONTEXTO	RESULTADOS
Contexto Mundial (2018)	Temas de investigación: • Nanoencapsulación de olores y sabores • Agentes viscosificantes • Antiglomerantes • Nanoemulsiones • Limpieza, nanopelículas • Nanoemulsiones • Distribución de nutrientes • Suplementos de características sensoriales • Refuerzo vitamínico y mineral • Propiedades nutraceuticas • Envases y etiquetas inteligentes • Cultivos de precisión • Nanoagroquímicos
Contexto Nacional (Colombia)	Universidad de Cartagena Grupo de Investigación en Medio Ambiente, Alimentos y salud Revisiones bibliográficas acerca de las temáticas con menor aporte en investigación aplicada
Contexto institucional (SENA)	Programas de formación en procesamiento y control y calidad de alimentos Instructores SENA con formación especializada en alimentos Laboratorios para análisis físico químico, bromatológico, microbiológico, estaciones para cárnicos, lácteos y fruver Líneas de investigación en el Grupo de Investigación Agroindustrial, seguridad alimentaria y biotecnología Tecnoparque nodo Pereira Línea de Biotecnología y Nanotecnología
Artículos científicos y patentes	• País de mayor publicación en las dos áreas China • Número de publicaciones científicas Nanotechnology (108.636) • Número de publicaciones científicas Nanotechnology AND Foods (12.574) • El mayor porcentaje en documentos generados corresponde a artículos 76.4% • Publicaciones con mayor participación en áreas como química y materiales • El mayor aporte de patentes en “Nanofoods” corresponde a Australia y Canadá en Suramérica Brasil • El mayor aporte de patentes “Nanotechnology and foods” Estados unidos, Suramérica Brasil • Aportes Nanonutrientes, no registra • Aportes Patentes en Nanoemulsion Estados unidos • Aportes Patentes Nanoemulsion and foods Estados Unidos, México • Aportes Patentes Nanotechnology and agrochemicals México

Bibliometría SCOPUS

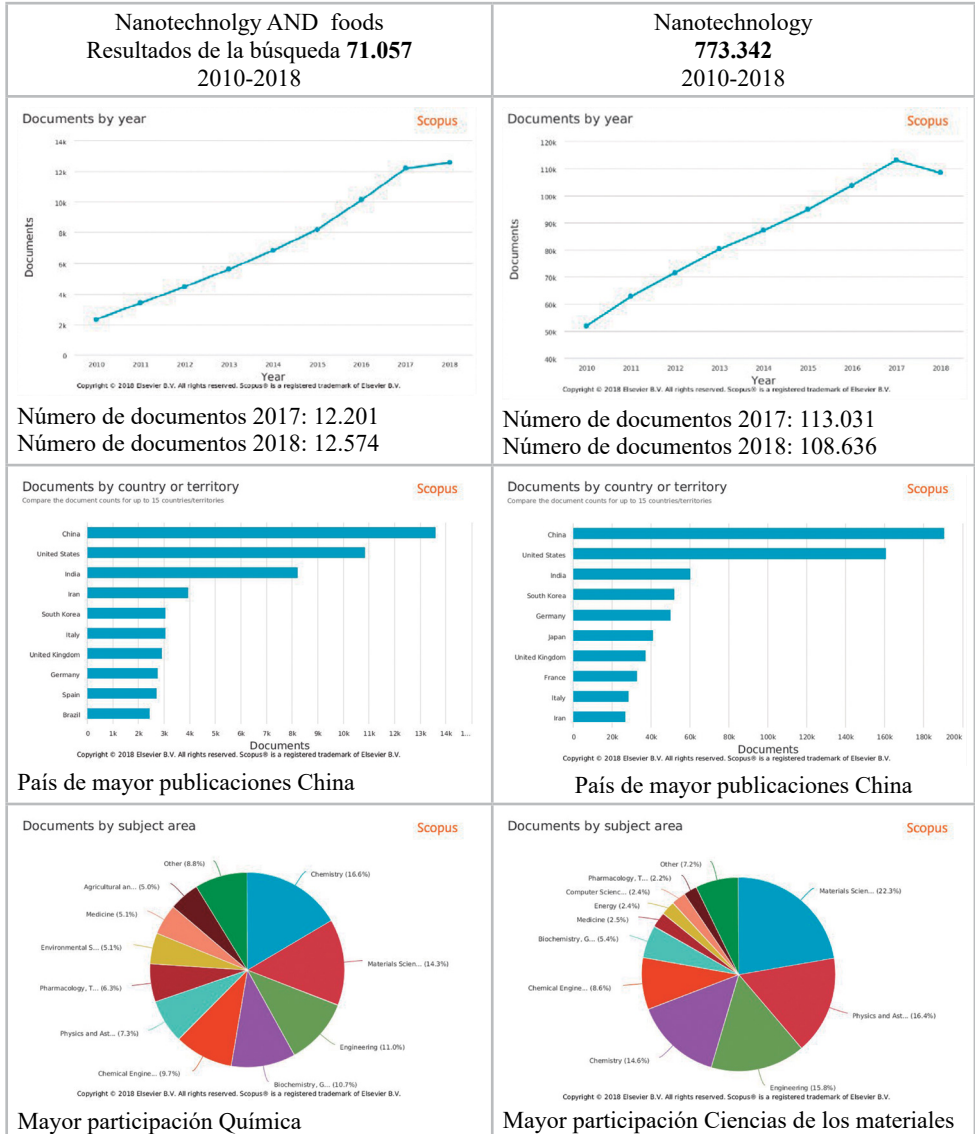


Ilustración 1 Bibliometría

Patentes de invención 2018-Colombia

Química

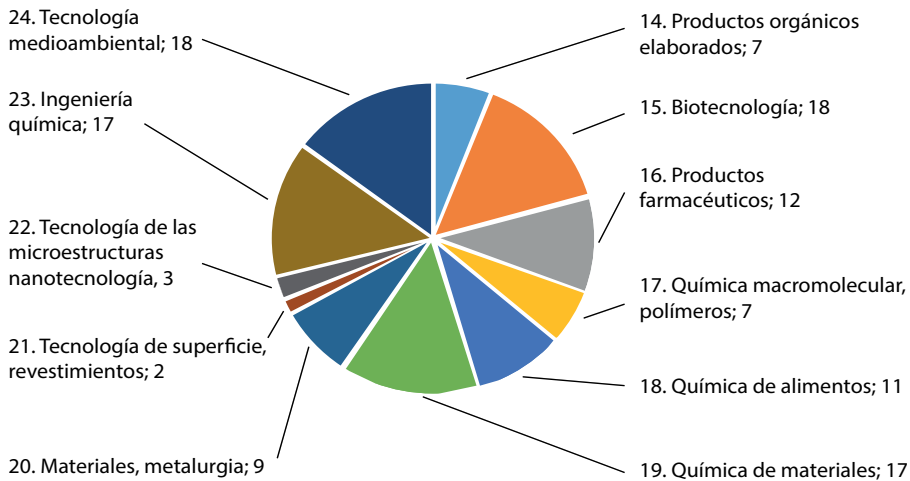


Ilustración 2 Patentes presentadas en Colombia 2018

Partir de la nanotecnología como la investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular y supramolecular destinados a proporcionar entendimiento fundamental de los fenómenos y los materiales en la nanoescala para crear y usar estructuras que presenten nuevas propiedades, comprende grandes aplicaciones en el sector de los alimentos, que al utilizar métodos como ‘bottom up’ o ‘top down’ alcanzan aplicaciones para reducir olores, cambiar apariencia, mejorar texturas y sabores.

Desarrollar productos más saludables y menos perecederos que alarguen la vida útil con nanotecnología no es imposible, ya que se puede detectar y neutralizar

microorganismos, y crear envases y etiquetas que usen materiales sensibles a la luz, a la temperatura, a la humedad, a la fuga de gases y a la calidad microbiológica que reaccionan a través de cambios de color brindando información útil de sus propiedades.

CONCLUSIONES

Las tendencias actuales para la nanotecnología en los alimentos se aprovechan desde el manejo de los cultivos, ya que se puede hablar de agroquímicos plaguicidas, reguladores de crecimiento vegetal y fertilizantes desarrollados con nanopartículas que ofrecen mayor tiempo de respuesta, absorción siendo efectivos

contra patógenos, insectos y plagas. Estas formulaciones resultan del aprovechamiento de materiales compuestos que usan la nanocapsulación como medio de transporte para los ingredientes activos.

La Nanotecnología potencializa las propiedades de muchas materias primas permitiendo el uso de nanoestructuras para dar valor nutritivo, mejorar texturas, eliminar olores, gelatinizar productos, estabilizar espumas y realizar emulsiones y complementos alimenticios que contengan nanotransportadores o nanomateriales para mejorar la biodisponibilidad de las sustancias nutritivas, vitaminas, nutrientes, minerales o proteger la vida útil de frutas o verduras con el uso de nanopelículas comestibles.

La investigación en el área de los nanoalimentos, muestra un aporte científico aproximadamente del 11.6% de las publicaciones para el 2018 en comparación con el tema de la nanotecnológica, en donde China es uno de los países de mayor producción académica, y en cuanto al resultado en tendencias, se evidencia que hay mayor aporte en revisiones bibliográfica y futuras aplicaciones que en desarrollos comerciales.

En la generación de patentes internacionales según Wipo patentscope, los países que más aportan en temas de nanoalimentos, nanoemulsiones, agroquímicos y en general nanotecnología en los alimentos son Estados Unidos, México y en Suramérica Brasil y desde la

superintendencia de industria y comercio de Colombia, para el tema de nanotecnología se presentaron durante el 2018 tres solicitudes en tecnologías de microestructuras y para el tema de medio ambiente, y biotecnología un total de 18 por cada una, esta cifra da a conocer que aun la nanotecnología no genera gran volumen de productos terminados pero sí que se han estado abordando temas de investigación en aras de generar impactos en áreas transversales a este, desde el estudio de los materiales, la biología, la medicina, la química, la física y los sensores.

Las aplicaciones para el área de alimentos son variadas y la oportunidad para estudiarlos y generar resultados de investigación y prototipos no es un tema tan alejado, es posible usar la nanotecnología para mejorar muchos procesos y no intervenir de manera negativa sobre estos, se puede innovar desde la producción primaria y en otras características del procesamiento como también en la preservación, se abre con esta vigilancia un abanico de posibilidades para el trabajo en los programas de formación en áreas de la industria alimentaria.

REFERENCIAS

- Alicia Ávalos Fúnez, A. I. (2016). NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA I: APLICACIONES. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias, 1-17.
- Alimentación, C. E. (1 de Mayo de 2017). Sociedad Española de nutrición. Obtenido de <http://www.sennutricion.org/es/2017/05/01/oportunidades-para->

- la-nanotecnologia-en-los-alimentos-y-piensos alimenticia, F. S. (23 de Marzo de 2018). Obtenido de Globas SDT: <https://www.globalstd.com/certificacion/fda-3ra-parte/nanotecnologia-en-la-industria-alimenticia>
- Antunes, A. F. (2013). Trends in nanopharmaceutical, Patent Int J Mol Sci 14:7016-7031. MSM.
- C.V., ©. 2. (Julio de 2016). Agrosintesis. Obtenido de <https://www.agrosintesis.com/aplicacion-la-nanotecnologia-formulacion-plaguicidas-fertilizantes-otros-agroquimicos/#.XAFfp9tKh0w>
- Carolina Palomino-Camargo, Y. G.-M. (2014). TÉCNICAS MOLECULARES PARA LA DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS EN ALIMENTOS: VENTAJAS Y LIMITACIONES. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, vol. 31, 535-546.
- CC, G.-B. J. (2016). Unique milk protein-based nanotubes: Food and nanotechnology meet. Trends Food Sci Technol 17: 196-203. .
- Delgado, G. C. (2009). Nanotecnología y producción de alimentos: impactos económicos, sociales y ambientales. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 17(34), 185-205. scielo, Recuperado en 28 de noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000200007&lng=es&tlng=es.
- Domingo, P. A. (s.f.). (NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA: ASPECTOS GENERALES. Obtenido de Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid Consejo Superior de Investigaciones Científicas U.A.M. : https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/680428/EM_12_1.pdf?sequence
- EUFIC. (22 de febrero de 2017). Obtenido de <https://www.eufic.org/es/food-production/article/opportunities-for-nanotechnology-in-food-and-feed>
- Hugo Espinosa Andrews, E. G. (2017). TECNOLOGÍAS DE NANO/MICROENCAPSULACIÓN. Jalisco Mexico: Sello Editorial: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (607-97548).
- Irache, J. M. (Mayo de 2010). www.coiaanpv.org. Obtenido de https://www.coiaanpv.org/recursos/files/web/congresos_y_jornadas/historico_de_congresos/congreso_agroalimentacion/ponencias/por_la_tarde/por_la_manyana/np-food-irache-2011.pdf
- PELAYO, M. (10 de Abril de 2008). CONSUMER.es EROSKI “Nanotecnología, aplicaciones y métodos de regulación”. Obtenido de <https://soebi.wordpress.com/2008/04/12/la-nanotecnologia-aplicada-al-procesamiento-de-alimentos-se-expande/>
- Pineda, D. (s.f.). Inventa Alimentos y Bebidas Envases inteligentes en la industria de los alimentos. Obtenido de Innovación. gob.sv: <http://innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2894/Envases%20inteligentes%20en%20>

la%20Industria%20Alimenticia.pdf

TAPIA, C. P. (Marzo de 2017).

ENVASES INTELIGENTES: UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA INOCUIDAD ALIMENTARIA Y DISMINUIR EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN CHILE. Santiago de Chile, Chile.

Handford, C., Dean, M., Spence, M., Henchion, M., Elliott, C. and Campbell, K. (2015). Awareness and attitudes towards the emerging use of nanotechnology in the agri-food sector. *Food Control*, 57, pp.24-34.

He, X. and Hwang, H. (2016).

Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24(4), pp.671-681.

Villena de Francisco, E. and García-

Estepa, R. (2018). Nanotechnology in the agrofood industry. *Journal of Food Engineering*, 238, pp.1-11.





Agroindustria

GESTIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DE LA INDUSTRIA DEL ALMIDÓN DE YUCA EN SANTANDER DE QUILICHAO

MANAGEMENT OF LIQUID DUMPS OF THE YUCA STARCH INDUSTRY IN SANTANDER DE QUILICHAO.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2091>

Recibido: 15.03.2019 Aceptado: 09.05.2019

José Eyder Hernández González
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
joseydering30@gmail.com
Colombia

Para Citar:

Hernández, J. (2019) Gestión de vertimientos líquidos de la industria del almidón de yuca en Santander de Quilichao. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4 (1), 54-66. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2091>

RESUMEN

La producción de almidón agrio de yuca es una de las principales actividades económicas en el norte del departamento del Cauca (Alarcón & Dufour, 1998). Sin embargo, esta agroindustria causa contaminación a las fuentes de agua superficial de la región debido a su alto contenido de materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno - DQO y Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO) que causa un impacto negativo sobre el ambiente ya que sus vertimientos líquidos se descargan a ellas sin ningún tipo de tratamiento (Arboleda, 2008). En el presente trabajo, se tomó como caso de estudio una rallandería representativa, ubicada en la vereda Cachimbal del municipio de Santander de Quilichao (Cauca), en la que se realizó la revisión, implementación de mejoras, y una evaluación detallada al sistema de producción, con el fin de optimizar el proceso y reducir su impacto ambiental. Se evaluó la implementación de una etapa adicional de prelavado en seco, una modificación en el sistema de colado y, con el fin de asegurar la continuidad del proceso, se incluyeron acoples entre las lavadoras, el rallador y las coladoras. A partir de una evaluación de calidad y cantidad a los vertimientos generados, antes y después de las mejoras sugeridas, se encontró que se redujo la cantidad de agua utilizada en un 13,8 %, se incrementó en un 8,32% la recuperación de afrecho, y de mancha 14,28%. Adicionalmente, se observó una reducción en la carga orgánica (en términos de DBO5 67,96% y DQO 37,23%), se redujo la cantidad de energía en 480,7 KVA, y la labor manual se disminuyó en 6 horas.

Palabras Claves: Afrecho; almidón agrio de yuca; canal de sedimentación; CRC; Manihot Esculenta Crantz; Departamento del Cauca; rallanderías.

ABSTRACT

The production of cassava sour starch is one of the main economic activities in the northern department of Cauca (Alarcón & Dufour, 1998). However, this agroindustry causes pollution to the surface water sources of the region due to its high content of organic matter (Chemical Oxygen Demand – COD and Biochemical Oxygen Demand – DBO) that causes a negative impact on the environment and its liquid discharges are discharged them without any type of treatment. In the present work, a representative rallandería, located in the village of Cachimbal in the municipality of Santander de Quilichao (Cauca), was taken as a case study, in which the revision, implementation of improvements, and a detailed evaluation of the production system were carried out. , in order to optimize the process and reduce its environmental impact. The implementation of an additional stage of dry prewash, a modification in the casting system and, in order to ensure the continuity of the process, couplings between the washing machines, the grater and the coladoras were included. From an evaluation of quality and quantity to the vertimientos generated, before and after

the suggested improvements, it was found that the amount of water used was reduced by 13.8%, the recovery of bran, and spot 14.28%. Additionally, a reduction in the organic load was observed (in terms of BOD5 67.96% and COD 37.23%), the amount of energy was reduced by 480.7 KVA, and manual labor was reduced by 6 hours.

Key words: Bran; sour cassava starch; sedimentation channel; CRC; Manihot Esculenta Crantz; Department of Cauca; rallanderías.

INTRODUCCIÓN

La producción de almidón de yuca es una de las actividades comerciales que genera la mayor parte de los ingresos de muchos de los pobladores del sector rural del municipio de Santander de Quilichao (Alarcón & Dufour, 1998); con respecto a la mitigación del impacto ambiental causado por los productores de almidón de yuca, se han realizado esfuerzos para encontrar alternativas que reduzcan los efectos nocivos de las cargas contaminantes originadas en los vertimientos líquidos; se destacan las investigaciones realizadas en el corregimiento de Mondomo, Vereda La Agustina.

El sistema tradicional de procesamiento de yuca para obtener el almidón se realiza en pequeñas plantas denominadas rallanderías; estas emplean un sistema que, primero, recibe la materia prima, luego lava, pela, cuela y, posteriormente, transfiere la mezcla de fluidos de pulpa de yuca y agua a canales donde se efectúa el proceso de sedimentación. Finalmente, se realiza la fermentación, para terminar con el secado (Aristizábal & Sánchez, 2007).

A manera de reducción en la fuente; el presente trabajo plantea una propuesta de disminución de la carga contaminante que transportan los vertimientos líquidos de las rallanderías que realizan sus descargas a los cuerpos de agua del corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca.

El presente estudio se desarrolló en cinco fases que incluyen, primero, una etapa de trabajo de campo donde se realizó la recopilación de información básica, visitando cuatro (4) rallanderías de yuca seleccionadas del listado que aportó la CRC y en la que están incluidos todos los rallanderos de la zona. En la segunda etapa, se seleccionó la rallandería prototipo, denominada “El Paraíso”, localizada en la vereda Cachimbal del corregimiento de Mondomo, Departamento del Cauca; allí, se realizaron los estudios de evaluación de los equipos utilizados en el proceso de producción de almidón de yuca. En la tercera etapa del proyecto, se realizaron muestreos de los vertimientos líquidos en visitas de campo realizadas a la rallandería en estudio y se caracterizaron en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad

Nacional de Colombia, sede Palmira. En la cuarta etapa del trabajo, se analizaron en el laboratorio los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras.

Finalmente, en la quinta etapa, se realizó el cuadro comparativo en el que se observó la diferencia de los resultados obtenidos en las rallanderías que utilizan el sistema tradicional de producción de almidón y la rallandería seleccionada en el estudio. Esta fue tomada como modelo para evaluar los beneficios de los ajustes realizados en los equipos y en el proceso, y así generar las recomendaciones que se sugieren a los rallanderos, en aras de la realización de ajustes en su sistema de producción. Lo anterior redunda en la reducción de la contaminación originada por la alta presencia de DBO₅, la DQO y los SST (Sólidos suspendidos totales) en los vertimientos líquidos; incluyendo la remodelación, los cambios en los equipos y los cambios en el sistema de tratamiento de las aguas residuales.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El Municipio de Santander de Quilichao, se encuentra localizado en la Zona Norte del departamento del Cauca, Colombia. Este presenta los siguientes límites: Al norte con los municipios de Villa Rica y Jamundí, al occidente con el municipio de Buenos Aires, al oriente con los municipios de Caloto y Jambaló y al sur con el municipio de Caldono. Su extensión es de 597 Km², su posición geográfica respecto al meridiano

de Bogotá es de 3° 0' 38" latitud norte, y 2° 23' 30" latitud oeste. Su altura sobre el nivel del mar es de 1.071 Metros (Perlaza & González, 2016).

El departamento se encuentra ubicado en la zona suroccidental del país en la cordillera de los Andes. Ver Figura 1.

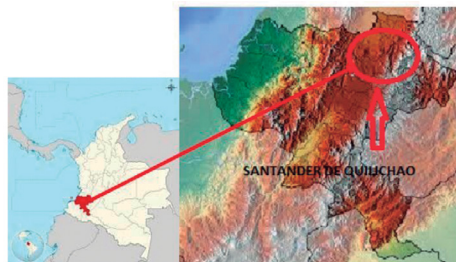


Figura 1. Localización Departamental del municipio de Santander de Quilichao.

La rallandería en estudio se denomina “El Paraíso”; se encuentra localizada en la vereda Cachimbal del corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, y es propiedad del señor Henry Jiménez. Ver Figura 2.

El agua que emplea la rallandería en el proceso de producción de almidón de yuca se presenta en un promedio de 2,97 L/seg, es captada de la quebrada “Abejonales” y se descarga con los residuos del proceso en la quebrada “La Chapa”.

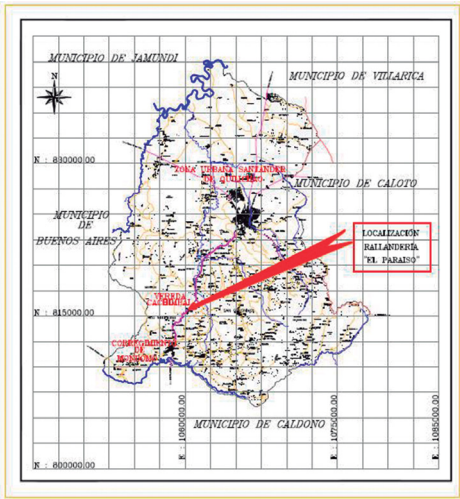


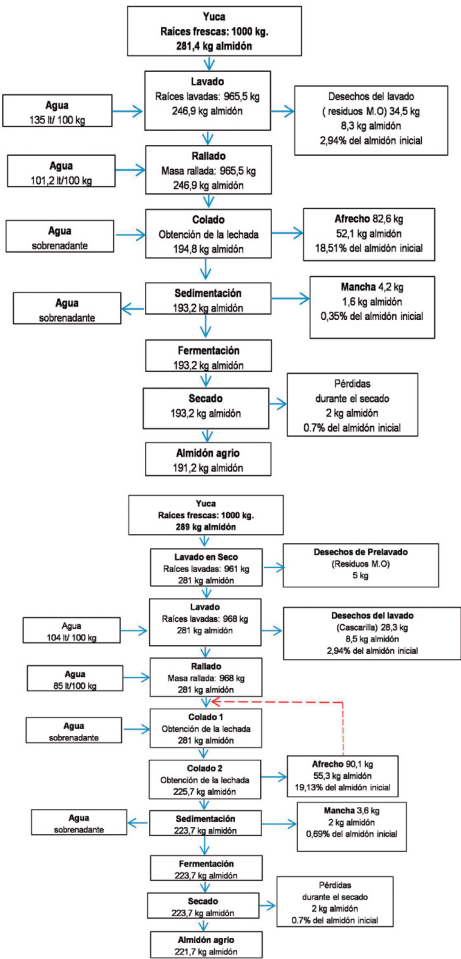
Figura 2. Localización rallandería “El Paraíso” (vereda Cachimbal, corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao).

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de haber realizado el trabajo de campo, el trabajo de laboratorio, consultas de material bibliográfico, encuestas a los rallanderos, personal técnico y profesional de la CRC, que sirvieron como base para realizar un análisis del estado actual del problema. Esta información fue un componente fundamental para la gestión de los vertimientos líquidos de las rallanderías.

Rendimiento del proceso (REND).

El balance de masa del procesamiento del almidón muestra un rendimiento en el proceso de 19.1% antes de las modificaciones y 22,1%, después de las modificaciones. Ver Figuras 3 y 4.



Figuras 3 y 4. Diagrama de balance de masas del proceso de extracción de almidón agro (antes de y después de modificaciones).

Efectos de las adecuaciones en los equipos

En la rallandería “El Paraíso” se observó que, después de los ajustes en los equipos de lavado y colado, la DBO5 y la DQO, presentaron disminuciones significativas con respecto a los valores obtenidos anteriormente con el sistema tradicional

(Checa, Luna, Sánchez, Díaz & Restrepo, 2003), pasando de $DBO_5=1386(\text{mgO}_2/\text{L})$ a $DBO_5=783(\text{mgO}_2/\text{L})$ (Cisterna & Peña, 1998).

- **Tiempo del proceso**

Las adaptaciones efectuadas al proceso de producción del almidón de yuca en la rallandería “El Paraíso” con los nuevos ajustes, logró disminuir la carga contaminante que se vierte en la descarga final del proceso y el tiempo de labor hasta en 6 horas, reduciendo costos del fluido eléctrico y la cantidad de agua del vertimiento a 1,7 L/s.

Los resultados presentados por la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC (CRC, 2002) corresponden a los muestreos realizados a la salida de los tanques de sedimentación de algunas rallanderías que operan con el sistema tradicional, los cuales se compararon con los resultados de la caracterización de los vertimientos de la rallandería en estudio a la salida de los canales de sedimentación. En la Tabla 1 se puede observar el comportamiento de los siguientes parámetros.

Tabla 1.

Comparación de resultados de caracterización de los vertimientos de la rallandería “El Paraíso” con otros resultados.

Parámetro	Resultado	3	16	25	43	51	56	QUIN (1)	QUIN (2)	QUIN (3)	MOND (1)	MOND (2)	MOND (3)
pH	4,11	5,4	5,1	6,5	5,8	4	4,8	4,8	4,2	4,2	4	4,4	3,9
T(°C)	24,7	19,5	22,6	23	20,2	20,5	20,3	18,9	21,3	21,7	21,4	20,4	19,8
Conductividad eléctrica (CE)($\mu\text{S}/\text{cm}$)	734	726	658	920	742	1004	990	800	597	541	1017	638	613
Oxígeno disuelto (OD) (mg/l)	0,62	1,94	0,4	0,7	3,12	0,69	0,68	2,39	0,6	0,9	0,3	0,35	0,4
Sólidos totales (ST) (mg/l)	712	2779	1240	1740	4663	5844	1808	3561	870	780	1194	870	1404
Sólidos suspendidos (SST) (mg/l)	522	2291	880	1340	4171	5213	1090	3122	580	540	714	480	960
Sólidos disueltos (SDT) (mg/l)	391	488	380	400	492	631	718	515	439	220	480	410	444
DQO (mg/l)	1398	4094	3839	6544	5884	6954	6969	3565	3893	2943	3462	4209	6073
$DBO_5(\text{mgO}_2/\text{L})$	783	816	1217	1466	950	880	2091	476	1116	1880	3660	2061	2795

- *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

El valor obtenido de DQO fue de 1398 mg/L; es mucho menor que el valor encontrado en las otras rallanderías (CRC, 2002), representa la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química biodegradable y no biodegradable de las partículas que están en suspensión; por lo tanto, su menor valor significa que la carga de materia orgánica de los vertimientos de la rallandería “El Paraíso”, es menor a la carga de las otras rallanderías con las que se compara en la tabla 2; como lo muestra la Figura 5.

- *La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)*

La cantidad de oxígeno usado por la actividad respiratoria de los microorganismos que utilizan la materia orgánica del agua residual para crecer y para metabolizar a partir de ella, fue de 783 mgO₂/L. El resultado obtenido, mide la concentración de contaminantes orgánicos. como se observa en la Figura 6 la rallandería “El Paraíso” presenta un valor más bajo que el de las otras rallanderías; esto significa que existe menor contaminación por materia orgánica en los vertimientos líquidos.

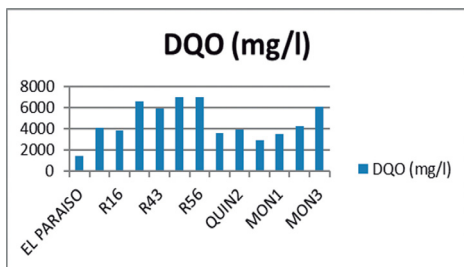


Figura 5. DQO (mg/l) de los vertimientos líquidos de las rallanderías.

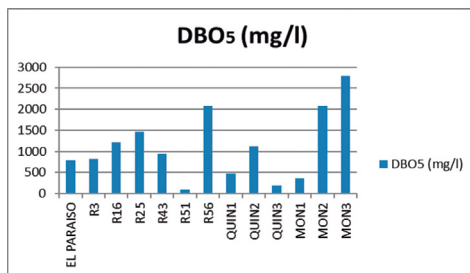


Figura 6. Gráfico de DBO5 (mg/l) de los vertimientos líquidos de las rallanderías

Con los resultados de DBO5=783 (mgO₂/L) y DQO=1398 (mg/L), se calculó el índice de biodegradabilidad (DBO5/DQO):

- $$\text{Índice de biodegradabilidad} = \left(\frac{\text{DBO5}}{\text{DQO}} \right) = 0,56$$

Un valor inferior de 2,5; indica que el vertimiento es biodegradable (Cisterna & Peña, 1998).

A pesar de la alta biodegradabilidad de los vertimientos de la rallandería, el alto volumen de residuos que se vierte al cauce de la quebrada la Chapa, puede ocasionar efectos negativos en la flora y la fauna; como consecuencia de la acumulación de materia orgánica que se puede sedimentar con el tiempo.

GESTIÓN DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

- 1. *Descripción de actividades y procesos asociados al sistema de gestión del vertimiento líquido.*

En el procesamiento del almidón de la yuca se genera una alta carga contaminante a causa

de los SST, la DBO5 y la DQO; por lo tanto, la gestión de los vertimientos está encaminada a contribuir a la reducción del impacto ambiental ocasionado por los residuos orgánicos que son vertidos a las fuentes hídricas; en este caso, en la quebrada La Chapa.

- **2. Localización del sistema de gestión del vertimiento líquido**

La localización del sistema de gestión del vertimiento corresponde a la rallandería “el Paraíso” ubicada en el Departamento del Cauca, municipio de Santander de Quilichao, vereda Cachimbal.

El Sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento de los vertimientos líquidos de la rallandería “El Paraíso”, inicia con una caja de inspección en concreto de 0,70m x 0,70m ubicada a la entrada de los canales de sedimentación, luego el fluido pasa a un tanque de sedimentación de 7,2m³ en concreto que

recibe también la descarga proveniente del lavado de la yuca en tubería PVC de 3””; este, a su vez, se conecta mediante un tubo de 3” a una trampa de grasas 80x80 cm, desde donde conduce el vertimiento por tubería de PVC Sanitaria de 4” hasta la Quebrada La Chapa. El detalle del sistema de tratamiento se puede observar en la Figura 7.

El Vertimiento

La descarga del vertimiento de la rallandería “El paraíso” se realizó durante 8 hr/día, con un caudal de 1,7 L/seg. Para un total de 48,96 m³/día. Debido a que la rallandería “El Paraíso”, al igual que las otras rallanderías asentadas en la zona, se encuentra censada en la CRC, está sujeta a visitas periódicas y al control de los vertimientos, de acuerdo a lo estipulado en la Ley 99 del 93. La Matriz de identificación de impactos y la matriz de calificación de impactos se encuentran condensadas en las tablas 2 y tabla 3, respectivamente.

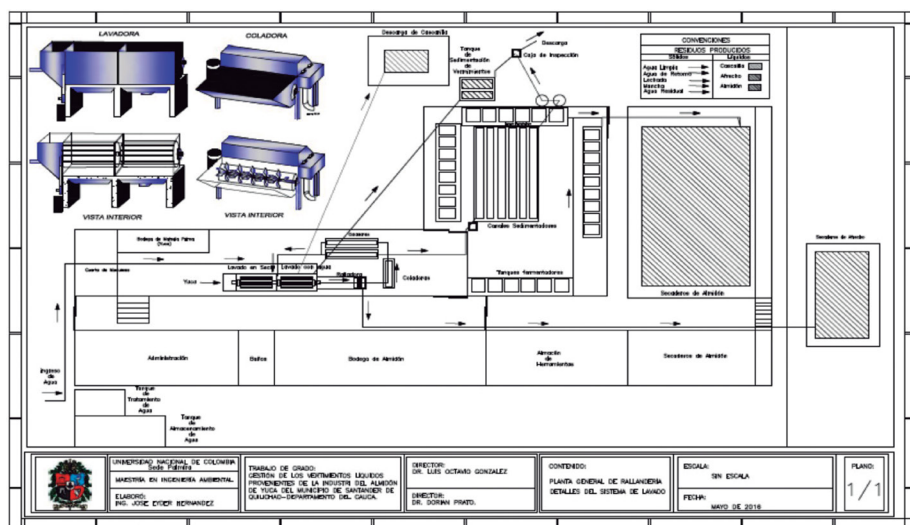


Figura 7. Plano general de la rallandería “El Paraíso”

Tabla 2.
Matriz de identificación de impactos de los vertimientos líquidos de la rallandería “El Paraíso”.

ELEMEN- TO AM- BIENTAL	Fase	Actividades asociadas	Verti- mientos Líquidos	IMPACTO AMBIEN- TAL	ACTIVI- DAD DE MITIGA- CIÓN	RESPON- SABLE	NORMA- TIVIDAD APLICABLE
HÍDRICO	Lavado	• Alistamien- to de materia prima. • Alistamien- to de máqui- na. • Alimenta- ción máquina. • Operación máquina. • Descargue de máquina.	Agua residual.	Alteración de los pa- trones de drenaje.	Implemen- tación de un Sistema de Trata- miento de las aguas residuales.	Propieta- rio de la rallande- ría.	Ley 9 de 1979. Protec- ción del Me- dio Ambiente y Salud Decreto 1594 de 1984. Reglamen- tación del uso de agua y residuos Líquidos.
	Colado	• Alimenta- ción máquina. • Operación máquina. • Descargue de máquina.	Agua residual por escu- rrimiento del afre- cho.	Reducción de caudales.			Ley 99 de 1993. Por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
	Sedi- menta- ción	• Alimen- tación de canales. • Seguimiento altura nivel del agua. • Lavado y retiro del almidón.	Agua residual.	Incremento en con- centración de sólidos suspendidos en los cuer- pos de agua superficial.			Resolución 631 de 2015 Reglamen- tación de vertimientos.
	Fer- menta- ción	• Alimenta- ción de tan- ques. • Seguimiento fermentación. • Lavado. • Retiro del almidón agrio.	Agua residual.	Incremento en con- centración de sólidos suspendidos en los cuer- pos de agua superficial.			Decreto 3102 de 1997 (Artículos 2 y 6) Uso del agua.
	Otras activi- dades	• Limpieza desagüe máquina de lavado. • Limpieza tanque de cascarilla y afrecho. • Inspecciones varias.	Residuos en menor propor- ción, iguales a las etapas de lavado, pelado y colado.	Derrames de verti- mientos líquidos en el suelo, posible con- taminación de las aguas subterrá- neas.	Operación adecuada de los equipos y mante- nimiento preventivo	Operarios de la ra- llandería.	Decreto 3930 de 2010 (Artículo 28) Vertimien- tos. Resolución 631 de 2015 Reglamen- tación de vertimientos.

Tabla 3.

Matriz de calificación de impactos. Adaptado de (Arboleda, 2008).

		FACTORES AMBIENTALES	AIRE	SUELO	AGUA	PAISAJE	VEGE-TAC.	ECO-NOM.	SÍNTESIS		
			CALIDAD (olores fuertes)	EROSIÓN (pérdida de suelo)	CONTAMINACIÓN (fuentes hídricas)	DESARMONIZACIÓN	COBERTURA VEGETAL	NIVEL DE INGRESOS (incremento)	Σ		
ACCIONES DEL PROYECTO								+	-	+	-
OPERACIÓN	Lavado			-2/7	-5/8				2		7/15
	Rallado			-1/6	-4/7				2		5/13
	Colado		-7/8	-4/8	-3/6	-3/7	-3/6		5		20/35
	Sedimentación		-2/4		-4/7				2		6/11
	Fermentación		-1/3		-2/3				2		3/6
	Secado		-1/4						1		1/4
Síntesis	Número de interacciones	+									
		-	4	3	5	1	1		14		
	Σ	+									
		-	11/19	7/21	18/31	3/7	3/6				42/84
	PROMEDIO DEL PROYECTO									+	

Magnitud (M): Los numeradores determinan la magnitud de los impactos de 1 a 10.

Importancia (I): Los denominadores representan el valor de la importancia del factor ambiental y su deterioro en un rango de 1 a 10.

Clase: Indica el tipo o consecuencia del impacto, (positivas o benéficas (+) negativas o perjudiciales (-).

CONCLUSIONES

Una vez culminado el trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones que se relacionan con los aspectos más relevantes mostrados a lo largo del mismo. En primer lugar, es evidente que en las rallanderías de Santander de Quilichao existen diferentes niveles de sofisticación y clasificación que se estratifican en pequeños, medianos y grandes; debido a que cada rallandero adapta los equipos al tamaño y a los requerimientos de producción a los que tiene acceso.

De la misma manera, se descubrió que antes de realizar los ajustes en los equipos de las fases de lavado y colado de la rallandería “El Paraíso”, el proceso de producción del almidón de yuca tardaba hasta 14 horas en el día. Esto como consecuencia del requerimiento de mayor tiempo para desprender la tierra y los residuos vegetales que trae la yuca del campo.

En consecuencia, y a raíz de la observación y análisis adelantados, la fase de colado es la que genera el mayor impacto ambiental, como se puede observar en la matriz de calificación de impactos; esto se debe a la alta contaminación que genera los factores de calidad de aire, contaminación hídrica y contaminación del suelo.

Uno de los impactos más drásticos, que es producto de los manejos inadecuados adelantados por los rallanderos, y a pesar de que los valores de DBO5 y la DQO bajaron considerablemente después de las modificaciones realizadas en los equipos

en las fases de lavado y colado, es que estos continúan por encima de los valores permitidos por la resolución 631 de 2015, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Es notorio que aunque la rallandería “El Paraíso” posee actualmente un tanque de sedimentación en concreto con tres compartimientos, este solamente trata las aguas provenientes del lavado, y deja por fuera el tratamiento de los vertimientos que salen de los canales sedimentadores, lo cual no cubre la totalidad del posible impacto en las fuentes hídricas.

Sin embargo, cabe destacar que la reducción del tiempo de producción del almidón de yuca también contribuye a la reducción del costo de electricidad y de mano de obra, pues se reduce en 6 horas el tiempo que tarda el proceso.

Finalmente, en cuanto al panorama general, la mayoría de las rallanderías presentan sistemas deficientes de tratamiento de las aguas residuales pero, con capacitación y asesoría, pueden incluir sistemas de bajo costo que reduzcan la carga contaminante.

REFERENCIAS

Alarcón, F. y Dufour, D. (1998). “Almidón agrio de yuca en Colombia: producción y recomendaciones”. Centro Internacional de Agricultura Tropical; Montpellier, Francia: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour

- le Développement, Département D'amélioration des Méthodes Pour l'innovation Scientifique, Vol. 1, 35 p., Publication CIAT; No. 268. Cali, Colombia.
- Arboleda, J. (2008). Manual de Identificación de Impactos de proyectos, obras o actividades. 144p. Medellín, Colombia.
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca". Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, Roma, Italia, Publicación FAO, No.163, 153 p.
- Armas, F. (2012). "Instructivo técnico de la yuca. Por la excelencia y desarrollo ecológico sostenible en armonía con la naturaleza y la sociedad en la Amazonía". 30 p., Ecuador.
- Cadavid, L. F. (2006). Aspectos tecnológicos sobre producción de yuca, CLAYUCA. 35 p., Santiago de Cali, Colombia.
- Perlaza, D.; González, J. (2016). "Información General del Municipio de Santander de Quilichao", Alcaldía Municipal, 1 p., Cauca, Colombia.
- Checa, A.; Luna D.C., Sánchez O.L., Díaz J.R y Restrepo A.R. (2003). "Automatización para la producción de almidón de yuca en el Cauca". Universidad del Cauca, 8 p. Popayán, Colombia.
- Cisterna, P. y Peña, D. (1998). "Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región", 18 p. Essbio S.A.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC. (2002). Informe Sobre sistema de Producción de Almidón de Yuca en las pequeñas rallanderías de almidón agro en el Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca. 85 p. Popayán, Cauca.
- DANE. (2015). "Comunicado de Prensa", noviembre 3, 18 p. Bogotá, Colombia.
- FAO. (2007). Manual sobre el Cultivo de yuca. 18 p.
- Gobierno de Chile. (2005). Concejo de Producción Más Limpia, Santiago de Chile, 33 p.
- Jaramillo, H. (1998). Almidón de yuca. Universidad Autónoma de Occidente. 23 p. Santiago de Cali, Colombia.
- Marmolejo, L.; Pérez, A.; Torres, P.; Cajigas, Á. y Cruz, C. (2008). "Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en pequeñas industrias de almidón agro de yuca". 120 p. Santiago de Cali, Colombia.
- Martelo, M. (2006). "Optimización de la cadena de valor del Bio-etanol a partir de la caña de azúcar y la yuca". 298 p. Universidad del Norte, Barranquilla.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). "Resolución No. 1083 de 1996". 2 p. Bogotá, Colombia.
- Montoya, S. (2007). Industrialización de la yuca (Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones). 40 p. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Mosquera, M. (2010). "Mejoramiento del proceso tradicional para la obtención de almidón agro de yuca en el sector de Mondomo, Cauca", Universidad

- Nacional Abierta y a Distancia. 110 p. Santander de Quilichao, Cauca.
- Perdomo, A. (2012). Mapas de reconocimiento regional. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 21 p. Santander de Quilichao, Cauca.
- Ponce, T. (2009). "Perfil de yuca, Corpey". Centro de Información e Inteligencia Comercial CICO. 28 p. Ibarra, Ecuador.
- Sandoval, N. (2003). "Implementación de la metodología Sistemas Agroalimentarios localizados (SIAL) en la Cadena Agroindustrial del Almidón del Almidón Agrario de Yuca en el Norte del Departamento del Cauca". 98 p. Universidad Nacional, sede Palmira.
- Sarria, H. (2011). Contaminación y toxicidad de las aguas residuales de las rallanderías del norte del Cauca, Colombia. Universidad Complutense de Madrid. 267 p. Madrid, España.
- Suárez, L. y Mederos, Víctor. (2011). "Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)". Tendencias actuales. Cultivos Tropicales, Vol. 32, No. 3, p. 27-35.
- Torres, P.; Pérez, A.; Marmolejo, L.; Ordóñez, J. y García, R. (2010). "Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos". Revista EIA, 38 p. Medellín, Colombia.

ESTUDIO DE MERCADO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN MÓVIL

MARKET ANALYSIS FOR THE RELEASE OF HORTICULTURAL PRODUCTS THROUGH A MOBILE APPLICATION

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1795>

Recibido: 10.09.2018 Aceptado: 30.05.2019

Beatriz Elena Bedoya Mendoza

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
beatrizebm@gmail.com
Colombia

Brian Mauricio Márquez Mejía

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
bmmarquez@misena.edu.co
Colombia

Blanca Nory Valencia Cruz

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
blancava@misena.edu.co
Colombia

Constanza Montalvo Rodríguez

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
cmontalvor@sena.edu.co
Colombia

Luz Elena Moreno Arboleda

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
lmoreno112@senaedu.edu.co
Colombia

Para Citar:

Bedoya, B., Márquez, B., Valencia, B., Montalvo, C., Moreno, L. (2019) Estudio de mercado para la comercialización de productos hortofrutícolas a través de una aplicación móvil. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4 (1), 67-76. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1795>

RESUMEN

En el siguiente trabajo el lector se encontrará con los resultados del estudio de mercado de la App “Del Campo”, que actualmente se desarrolla como un proyecto de innovación que busca mejorar la calidad alimenticia de los habitantes y agricultores de la ciudad de Palmira Valle, a través de la disminución de intermediarios en la comercialización de productos agrícolas en las zonas de influencia de la ciudad, creando una relación más cercana entre el productor y el consumidor. El presente estudio de mercado permitió determinar los principales productos hortofrutícolas de la zona y aspectos relevantes como la estratificación y tipo de dispositivos tecnológicos utilizados por los Palmiranos, así como la aceptación de la aplicación por parte de la población objeto de estudio. Se espera que esta aplicación sea una herramienta por medio de la cual las personas adquieran productos que generalmente se compran teniendo interacción directa con los sentidos, buscando identificar el mejor producto que logre la satisfacción de sus necesidades básicas en cuanto a la canasta familiar y el aprovechamiento de nutrientes, que proporcionan estos productos. “Del Campo” pretende satisfacer estas necesidades mediante agricultura limpia, ofreciendo productos de primera calidad y libres de agentes químicos que puedan ser perjudiciales para la salud de las personas que tienen hábitos de consumo saludables, pero que aún no saben dónde pueden adquirir productos que realmente garanticen la calidad y el tratamiento de los mismos. A través de la App se pretende reducir esta incertidumbre y favorecer los ingresos de los agricultores Palmiranos.

Palabras claves Agricultura limpia, hortofruticultura, aplicación móvil, TIC en el campo, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

In this paper, the reader will find the results of the market analysis for the App “Del Campo”. This App is currently being developed as an innovation project that seeks to improve the nutritional quality of the inhabitants of the city of Palmira Valle, both consumers and producers (farmers), through the reduction of intermediaries in the commercialization of agricultural products in the areas of influence of the city. Therefore, the App “Del campo” intends to create a closer relationship between the producer and the consumer.

The present market analysis allowed to determine the main horticultural products consumed in the area and relevant aspects of the population such as the stratification and type of technological devices used by Palmiranos, as well as the acceptance of the App “Del Campo” by the population under study. It is expected that this application becomes a tool useful to acquire products that are generally purchased having direct interaction with the senses, seeking to identify the best product that achieves the satisfaction of the person's

basic needs in terms of his family basket and the quality of nutrients provided by these products. App “Del Campo” aims to satisfy these needs through clean agriculture, offering first quality products and free of chemical agents that can be harmful to the health of people who have healthy eating habits but still do not know where to buy products whose quality and good process of treatment are really guaranteed. The aim of the App is to reduce this uncertainty and favor the income of Palmirano farmers.

Key words: Clean agriculture, horticulture, mobile app, ICT in the field, sustainable development.

INTRODUCION

El sector agrícola de Colombia es uno de los pilares de la economía que permite el desarrollo de otros sectores dentro del país, proporcionando materia prima y productos de consumo masivo que se exportan a otros lugares del mundo. De acuerdo a un informe del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural del 2014, se creó el Programa de Agricultura Familiar PAF, con el objetivo de reducir la pobreza rural, mejorar la calidad de vida e incrementar los ingresos de los pequeños productores rurales y ampliar la clase media rural, a través del fortalecimiento de las capacidades de las familias de desarrollar agricultura familiar, del impulso a proyectos integrales de producción, transformación y comercialización de sus productos debido a que el ritmo de vida acelerado, las largas jornadas laborales y el desarrollo urbano, hacen que los consumidores realicen compras de manera desordenada, adquieran en ocasiones productos innecesarios que se deterioran durante el almacenamiento o en otros casos, realicen compras incompletas que implican una posterior visita al punto

de venta, con la consecuente pérdida de tiempo, dinero y desperdicio de productos.

Con el avance de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) el comercio ha cambiado y los métodos de venta, dándole un valor agregado al producto por medio de dispositivos móviles que permiten a los consumidores finales conocer información nutricional de alimentos obtenidos con tecnologías limpias, de la misma manera los productores agrícolas pueden contar con registros técnicos y administrativos de sus producciones, con los cuales de manera sistemática realizan la gestión y comunicación con los clientes potenciales dispuestos a consumir sus productos, además de impulsar la aparición de emprendedores que con una mínima inversión pueden comercializar productos por medio de plataformas web, App y motores de búsquedas; que realizan las funciones de promoción y exhibición de productos sin que el consumidor se desplace de su lugar de residencia (San-Millán, Medrano, and Mayorgas 2007).

Actualmente, en el departamento del Valle del Cauca no existe una plataforma digital que integre la comunicación e información de todos los componentes, desde la producción hasta el consumo de alimentos limpios y saludables, para una buena selección y compra con información nutricional y oportuna para el consumidor final. Se ha identificado la necesidad del agricultor de cambiar sus métodos de comercio para ser competitivo, no dedicarse exclusivamente a cultivar y entregar productos, sino también estar a la vanguardia de los avances tecnológicos que le permiten reducir los intermediarios con el consumidor final.

Las TIC son fundamentales en el proceso de cambio en métodos de venta y expansión de cultivos pues a través de estas se pueden realizar no solo compras sino también proyectos de emprendimiento que funcionen en la red. Razón por la cual, cada vez más empresas o instituciones consideran la innovación agrícola en la perspectiva de un desarrollo sostenible, intensivo ecológicamente y multifuncional, apoyado en los saberes locales y respondiendo a los retos de la reducción de la pobreza y vulnerabilidad de las sociedades y los ecosistemas (Bezoz and General 2012; CEPAL 2012).

La App “Del Campo” surge como una alternativa para mejorar la calidad de vida de los agricultores y consumidores finales, con el objetivo de comercializar productos más sanos y libres de químicos, con mayor beneficio al consumidor final y a su vez

mejorar el nivel de ingresos del campesino al disminuir la cantidad de intermediarios que son quienes más ganan con todo el procesos de compra y venta de productos agrícolas (Lasprilla - Miranda 2011; Rodríguez-Ardura, Meseguer-Artola, and Vilaseca-Requena 2007) El desarrollo de esta aplicación permitirá integrar la cadena productiva agroindustrial, al facilitar la articulación entre el productor primario con el consumidor final, donde este último obtenga productos de calidad. La implementación de la aplicación contribuirá al desarrollo alternativo en zonas históricamente afectadas por el conflicto armado y el narcotráfico. Aportando a la Reforma Rural Integral, resaltando el enfoque de la Agricultura Familiar, articulando los programas de formación del Sena y el desarrollo tecnológico con el desarrollo alternativo de la región (Banco de la República and DANE 2011; Beltrán-Fonseca and Piñeros-Muñoz 2013; Carrasco 2015; García 2016; Lasprilla - Miranda 2011).

Pese a los beneficios que se esperan ofrecer con el desarrollo de la App Del Campo, es necesario validar su viabilidad en el mercado, por tanto el objetivo del presente trabajo fue determinar los principales productos hortofrutícolas de la zona demandados por los consumidores, la estratificación y tipo de dispositivos tecnológicos utilizados por los Palmiranos, así como la aceptación de la aplicación por parte de la población objeto de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio de mercados realizado para la App “Del Campo” se diseñó una encuesta con 13 preguntas y una duración de 25 a 30 minutos de diligenciamiento, que se aplicó en las 7 comunas de la zona urbana de Palmira Valle. Considerando que los productos a comercializar pertenecen a la canasta familiar, las encuestas se realizaron en hogares según totalidad del anuario estadístico del año 2016, que cuenta con una población total de 304.073 habitantes con un promedio de 3,6 personas por hogar, lo que genera una totalidad de 91.767 predios en la ciudad, de los cuales se tomó un porcentaje del 60%. Se encuestaron personas con edades de 20 a 69 años, Pensando en la capacidad de compra y las diferentes generaciones de consumidores existentes en los hogares. A través de estos se filtró una tabla con la cantidad de personas entre las edades anteriormente mencionadas. Y se procedió a determinar la muestra para cada comuna según público objetivo, con un margen de confianza de $(1,96)^2$, probabilidad de éxito 0.05, probabilidad de fracaso 0,95 y precisión 3% con una totalidad de 1394 encuestas. Una vez realizado este cálculo, se procedió a determinar los lugares a visitar de las comunas definiendo que serían 52 barrios, estableciendo parámetros como seguridad de los encuestadores y disponibilidad de las personas debido al horario laboral y demás actividades extracurriculares del día a día. Posteriormente se determinaron las fechas que iban desde el 25 al 28 de abril del 2018 y el cronograma de actividades con

los horarios, puntos de encuentro, número de personas con listado de asistencia y cantidad de encuestas a aplicar según la muestra individual de las diferentes comunas. Al finalizar la recolección de información, se generó la tabulación de a través de un formulario creado por el comité de mercadeo en Google Drive, que permitió ver el avance e interpretación de la información en tiempo real a través de gráficos de barras y circulares. El análisis de la información permitió determinar los (Limón, Mora, Naranja, Lulo, Tomate de árbol, Piña, Mango, Uva, Papaya, Guayaba, Tomate, Plátano. Cebolla cabezona. Zanahoria, Cebolla larga, Frijol, Lenteja, Habichuela, Pimentón y Lechuga) productos hortofrutícolas de la canasta familiar con mayor demanda (Canavos 1988; Municipio de Palmira, Cámara de Comercio de Palmira, and Fundación Progresamos 2016; Nielsen 2015)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

• Intención de compra

El presente estudio permitió determinar la intención de compra de productos hortofrutícolas de los Palmiranos a través de la “App Del Campo”, encontrando que un 63% de los hogares estarían dispuestos a utilizar la aplicación para adquirir sus productos agrícolas. Considerando que la muestra total fue de 1394 hogares, el mercado potencial para uso de la App Del campo es de 884 hogares.

Por otro lado, se consultó sobre el tipo de dispositivos disponibles en cada predio y

el tiempo que utilizan para estar conectados a la web a través de ellos, considerando que el tiempo invertido es un punto determinante para la adopción de nuevas aplicaciones.

La figura 1a muestra los resultados de la consulta. Al analizar la información, se determinó que un 40% de la población cuenta con Smartphone y un 36 % cuenta con Smartphone y computador, siendo estos dos dispositivos los de uso más frecuente. Estos resultados indican que para el desarrollo de la app móvil es necesario desarrollar la interfaz web y también la optimización de buscadores, que permitan la implementación de estrategias a través del marketing online SEM O SEO, que permitirá la aparición de la app en los diferentes motores de búsqueda cuando se establezcan palabras claves que tengan relación con ella así como la aparición de enlaces y publicidad de la app en redes sociales (Navarro and Agulló 2013).

La figura 1b muestra el tiempo que las personas dedican a conectarse en los dispositivos. Se observó que entre el 39 y el 21% de los encuestados acceden a la web entre 1 y 5 h/día. Esta información permite definir un rango de tiempo para diseñar estrategias de promoción de la aplicación y posterior oferta de productos a través de la aplicación, optimizando los motores de búsqueda y permitiendo que en cualquier momento el público objetivo pueda visualizar la promoción de la aplicación entre las primeras opciones de búsqueda (Navarro and Agulló 2013).

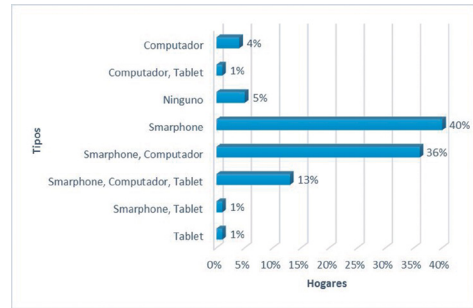


Figura 1a: Dispositivos en predios

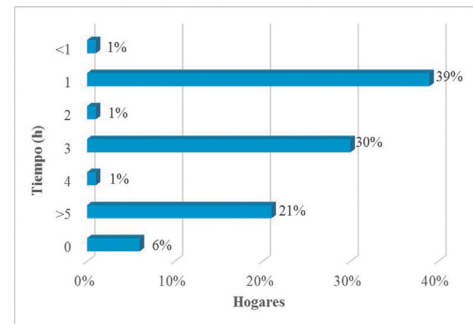


Figura 1b: Tiempo en conexión a la web.

De acuerdo a estos resultados, se requiere diseñar estrategias de penetración, colocación, sostenimiento y posicionamiento en el mercado de la app del campo, principalmente para dispositivos de tipo Smartphone y computadores con interfaz web que permita disponibilidad en cualquier horario y un servicio pertinente que satisfaga las necesidades del público.

• Perfil del cliente

Las figuras 2a y 2b muestran la aceptación de la aplicación según el estrato socio económico y la generación de los consumidores de la ciudad de Palmira. Se identificó que los estratos con mayor intención de compra son los estratos 2 y 3, seguidos del 4, en donde se observó que

los estratos 2 y 3 están más dispuestos a comprar los productos que se ofertan porque cuentan con la disponibilidad de tiempo para seleccionarlos detalladamente por medio de la app y estar en el hogar a la hora de la entrega. En cuanto a las personas del estrato 4, la disponibilidad de tiempo para recibir los pedidos es muy reducida debido al estilo de vida tan ocupado que tienen estas personas según lo expuesto por los encuestados y por tal motivo, es la señora del servicio doméstico quien se encarga en gran parte de este aspecto a menos que decidan consumir sus alimentos por fuera del hogar o pedir alimentos a domicilio.

En cuanto a las generaciones de consumidores estudiados en esta investigación que desearían adquirir productos por medio de la app, la figura 2b muestra el grado de aceptación de las generaciones de consumidores. Se observaron los siguientes porcentajes: generación silenciosa y baby boomers 20%, Generación X 52%, y generación millennials 28%. Lo anterior indica que estratégicamente se deben tomar planes de acción no solo para un tipo de público sino para distintas personas que compran y tienen estilos de vida diferentes.

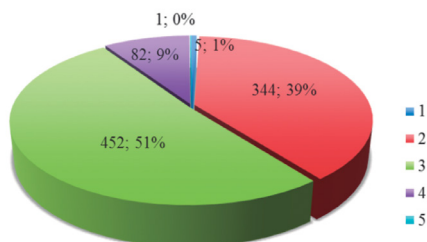


Figura 2a: Aceptación de la App según estrato

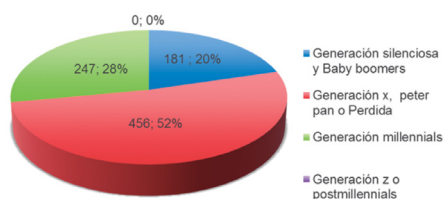


Figura 2b: Aceptación de la App según generación.

El análisis de la intención de compra de los consumidores de acuerdo al estrato socioeconómico y la generación a la que pertenece permitirán determinar estrategias de entregas y desplazamiento respecto al personal de la app, teniendo en cuenta la accesibilidad a los precios por parte de esas personas. Considerando que la app va dirigida principalmente a los consumidores de la generación millennial, que son quienes en gran medida compran en tiendas virtuales y navegan constantemente por la red buscando los mejores productos y servicios (Kurz, Garcia, and McIlvanna 2013; Peregrina 2017).

Tabla 1

Productos hortofrutícolas de mayor consumo por los hogares de Palmira

Frutas	Porcentaje de hogares que compran	Verduras y hortalizas	Porcentaje de hogares que compran
Limón	76%	Tomate	82%
Mora	76%	Plátano	65%
Naranja	71%	Cebolla cabezona	78%
Lulo	71%	Zanahoria	76%
Tomate de árbol	70%	Cebolla larga	74%
Piña	63%	Frijol	74%
Mango	61%	Lenteja	71%
Papaya	53%	Habichuela	64%
Guayaba	52%	Pimentón	50%
Uva	50%	Lechuga	47%

• **Oferta de productos**

La tabla 1 muestra los 20 productos hortofrutícolas con mayor demanda en la ciudad de Palmira según el estudio realizado. Estos 20 productos serán los ofertados inicialmente a través de la App móvil, debido a que son los más comprados por los predios según porcentajes referentes al total de la muestra establecida que después de ser analizada permitió determinar que más del 40% compran los diferentes productos tomando de manera individual cada uno.

Para estos 20 productos se ha iniciado el desarrollo de la aplicación de manera que el consumidor pueda visualizar imágenes, características, precio y cantidad disponible del producto. La figura 3 muestra información preliminar del diseño de la aplicación y algunos de los productos que estarán ofertados en este modelo de ventas online.

• **Visualización de productos**

La figura 3 muestra la presentación de tres de los productos hortofrutícolas como los visualizará el consumidor en su dispositivo móvil.

Las aplicaciones móviles cada día cobran más fuerza dentro de la compra y venta de los productos debido al fácil manejo y disponibilidad de la red, más actualizaciones que mejoran el servicio y a la experiencia de los clientes. Aunque existe una gran variedad de plataformas móviles, las plataformas iOS y Android son las que abarcan casi todo el mercado, por lo que se busca que esta aplicación funcione en ambas plataformas ampliando las posibilidades de obtener mayor número de clientes (Beltrán-Fonseca and Piñeros-Muñoz 2013; Carrasco 2015; Ramírez Germain, Soacha Morales, and Barreto 2012).

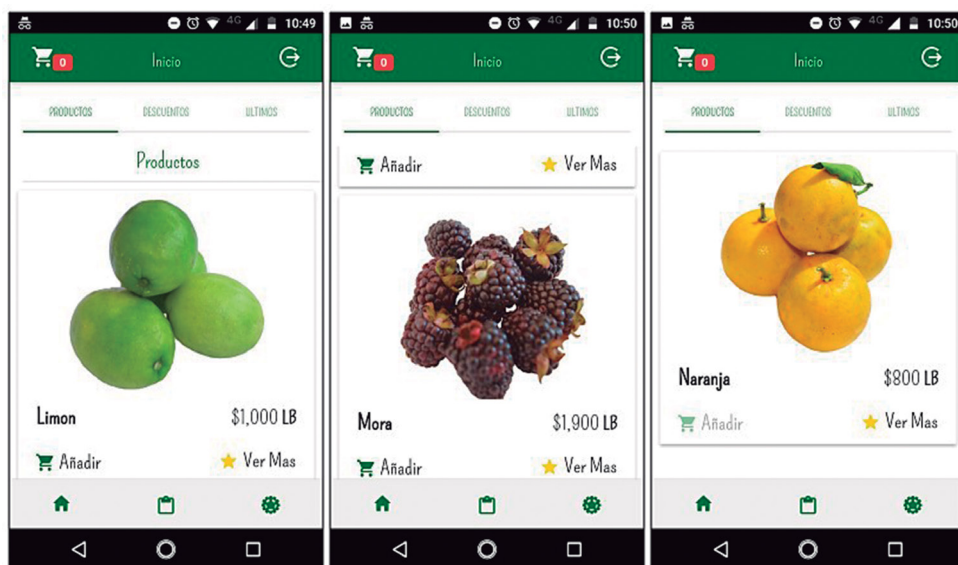


Figura 3: visualización de productos en la App Del Campo en dispositivos móviles

CONCLUSIONES

“Del Campo” pretende ser un modelo comercial ideal para el comercio de productos agrícolas de Palmira y su zona de influencia, prestando un servicio de calidad y ofreciendo los mejores productos para consumo de los ciudadanos Palmiranos. Razón por la cual se determinaron los 20 productos más comprados para la satisfacción de las necesidades del público objetivo o posibles compradores de las distintas generaciones de consumidores con distintos estilos de vida y gusto alimenticios, donde se busca crear cultura y hábitos de vida saludable para toda la población de Palmira Valle, contribuyendo al uso de las TIC en el sector agropecuario y a la mejora de la cadena logística y de distribución de productos hortofrutícolas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación SENNOVA y al Centro de Biotecnología Industrial por la financiación y contribución al desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- Banco de la República and DANE. 2011. Informe de Coyuntura Económica Eegional-Valle Del Cauca.
- Beltrán-Fonseca, J. and A. Piñeros-Muñoz. 2013. “Sector Agropecuario Colombiano: Realidad y Perspectiva.” EAN.
- Bezos, Jeff and Gerente General. 2012. Las TIC 's y El Desarrollo Del Comercio Electro Nico.

- Canavos, George. 1988. Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos. edited by M.-H. de México. México D.F.
- Carrasco, Silvia. 2015. “Análisis de La Aplicación de La Tecnología Móvil En Las Empresas.” 1:104.
- CEPAL. 2012. “TIC y Agricultura.” Newsletter ELAC 18:1–12.
- García, Autor López. 2016. “Trabajo de Final de Grado Ingeniería En Tecnologías Industriales.”
- Kurz, Christian, Carlos Garcia, and Jo Mcilvenna. 2013. “La Generación de Los Millennials.”
- Lasprilla - Miranda, Diego. 2011. “Estado Actual De Fruticultura Colombiana Y Perspectivas Para Su Desarrollo 1 Actual State of Colombian Pomology and Prospects for Its Development.” Rev. Bras. Frutic Volume Esp:199–205.
- Municipio de Palmira, Cámara de Comercio de Palmira, and Fundación Progresamos. 2016. Anuario Estadístico de Palmira 2016.
- Navarro, Gonzalo and David Agulló. 2013. “¿ Marketing Online?¿ SEO?¿ SEM? Conceptos Básicos.” Gaceta Dental: Industria y Profesiones (253):184–88.
- Nielsen. 2015. “Estilos de Vida Generacionales.” Facebook 18.
- Peregrina, Carlos; KPMG. 2017. “La Realidad De Los Consumidores Online. Informe Global Sobre Consumidores En Internet 2017.” 64.
- Ramírez Germain, Natalia, Wilson Soacha Morales, and Santiago Barreto. 2012. “Estudio de Factibilidad Comercializadora On-Line En Colombia.” 1–121.
- Rodriguez-Ardura, Inma, Antoni Meseguer-Artola, and Jordi Vilaseca-Requena. 2007. “Sistemas de Venta En Línea: Un Análisis de Sus Factores Críticos Para El Pequeño Comerciante.” Revista de Gestao Da Tecnologia e Sistemas de Información 4(1):95–108.
- San-Millán, Elvira, María Luisa Medrano, and Ildefonso Mayorgas. 2007. Buscadores En Marketing Digital En España: Tendencias.





Otros



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

HACIA EL MAPA DE CONOCIMIENTO DE SENNOVA-CEAI

TOWARDS THE KNOWLEDGE MAP OF SENNOVA-CEAI

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1945>

Recibido: 14.12.2018 Aceptado: 16.05.2019

William Fernando Vallejo Revelo

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

wfvallejo@misena.edu.co

Colombia

Jaime Diego Arias Figueroa

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

jdarias@sena.edu.co

Colombia

Para Citar:

Vallejo, W., Arias, J. (2019) Hacia el mapa de conocimiento de SENNOVA-CEAI, Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 80 - 105.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1945>

RESUMEN

Este artículo presenta una interpretación de los mapas de conocimiento como una herramienta de apoyo para la gestión del conocimiento en el sistema de investigación, desarrollo tecnológico e innovación del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, enfocándose principalmente en los procesos que identifican y relacionan recursos de conocimiento en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial del SENA (CEAI) en la ciudad de Cali. Como insumo de la revisión se utilizaron los catálogos de conocimiento elaborados por los líderes de gestión del conocimiento y la información disponible en las plataformas documentales del SENA. La construcción del mapa permitió esquematizar de manera sencilla y concisa las relaciones entre los programas, las líneas programáticas, los procesos y los conocimientos mientras el documento permite visibilizar los competencias, capacidades y recursos que posee el centro.

Palabras clave: Gestión del conocimiento, procesos de gestión del conocimiento, identificación de conocimientos, investigación, modelo de gestión del conocimiento.

ABSTRACT

This article presents an interpretation of knowledge maps as a support tool for knowledge management in the research, technological development and innovation system of the Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, focusing mainly on the processes that identify and relate knowledge resources in the Center for Electricity and Industrial Automation of SENA (CEAI) in the city of Cali. The knowledge catalogs prepared by the knowledge management leaders and the information available on the SENA documentary platforms were used as input to the review. The construction of the map allowed to outline in a simple and concise way the relations between the programs, the programmatic lines, the processes and the knowledge while the document allows to visualize the competences, capacities and resources that the center has.

Keywords: Knowledge management, knowledge management processes, knowledge identification, research, knowledge management model.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la competitividad y la innovación son condiciones indispensables para el crecimiento y la permanencia de las organizaciones, por lo tanto, deben generarse dinámicas que propicien el desarrollo del principal activo intangible de las mismas, el conocimiento. Este no es una colección de datos, ni el símil de la información, sino el conjunto de información adquirida por los individuos en base a su experiencia, juicios, valores, actitudes y aptitudes (Alfaro Calderon & Alfaro García, 2012). Por otra parte, la gestión del conocimiento se define como el proceso dinámico e interactivo que permite detectar, generar, codificar, transferir, capturar y usar el conocimiento para lograr los objetivos, generar y sostener las ventajas competitivas y resolver los problemas de una organización (Alfaro Calderon & Alfaro García, 2012).

La gestión del conocimiento ha venido adquiriendo gran relevancia desde de la década de los años 90 debido a que es visto por las organizaciones como una importante herramienta para potenciar sus ventajas competitivas. Según Briceño et al., (2010) los modelos de gestión del conocimiento se pueden agrupar en tres enfoques del pensamiento: a) Enfoque Técnico, que enfatiza en el uso de las tecnologías de información como estrategia de administración del conocimiento para la generación de valor en las organizaciones b.) El enfoque económico que se basa en la medición y el desarrollo de los activos intangibles y c.) El enfoque comportamental

que resalta la importancia de las personas como creadoras de conocimiento y por lo tanto, como recurso estratégico de la organización. Por otro lado, estos enfoques se suelen sintetizar en dos perspectivas, la perspectiva oriental que enfatiza en los procesos individuales y en sus conocimientos tácitos para traducirlos en explícitos y la perspectiva norteamericana que se enfoca en la capitalización del conocimiento de las personas para la toma decisiones (Briceño Moreno & Bernal Torres, 2010).

Los modelos de gestión del conocimiento establecen el enfoque organizacional de la gestión del conocimiento en diferentes instituciones. Entre los modelos de gestión de conocimiento más reconocidos se encuentra el modelo de Nonaka y Takeuchi, el cual se basa en un estudio realizado por los autores en 1995 relacionado con el éxito de las empresas japonesas para alcanzar la creatividad y la innovación (Nonaka & Takeuchi, 1995). Este modelo que ha sido adoptado por el SENA, parte de la premisa de que las empresas innovan transformando el conocimiento individual (tácito) en organizativo, formal o codificado (explícito).

Modelo de gestión de conocimiento del SENA

El SENA consiente de que el capital intelectual es un elemento estratégico clave de las organizaciones y que el conocimiento y las buenas prácticas organizativas son un activo intangible capaz de generar valor y ventajas competitivas, desarrolla en 2012 el Sistema de Gestión del conocimiento

con base en el Plan Estratégico 2011 - 2014 del SENA con visión 2020. Este sistema busca apoyar los procesos de creación, almacenamiento, recuperación, transferencia y aplicación del conocimiento en todas las áreas de la entidad (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2011).

En la Figura 1. Se presenta el modelo de gestión del conocimiento que el SENA apropió con base en la investigación de Nonaka y Takeuchi. En este modelo se establece que las organizaciones innovan transformando el conocimiento individual o tácito que corresponde a las habilidades de las personas, en organizativo, formal o codificado. Este modelo se fundamenta en las interacciones que se producen entre la dimensión epistemológica y la ontológica (modelo de conocimiento individual – grupal – organizacional) y de las cuales se da origen a un modelo de espiral de conocimiento, creado por la interacción iterativa de los siguientes cuatro procesos (SECI): la socialización, la externalización, la internalización y la combinación (Flores-Rios, Pino, Ibarra-Esquer, González-Navarro, & Rodríguez-Elías, 2015).

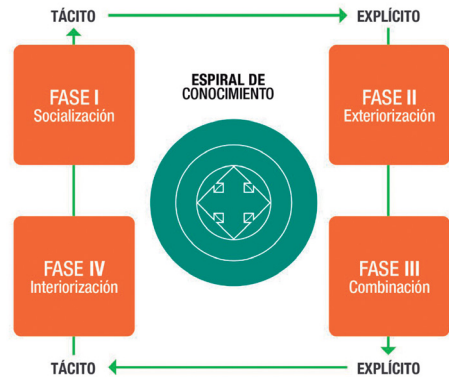


Figura 1. Modelo de Nonaka y Takeuchi
Adaptado de (Solís & Pérez, 2009)

- **Socialización:** Es el proceso de adquirir conocimiento tácito a través de actividades exposiciones, documentos, manuales, etc. Esto permite las interacciones entre los miembros de un equipo (Velásquez Gaviria, Mejía Correa, & Henao Henao, 2007).
- **Exteriorización:** Es el proceso de convertir conocimiento tácito en conceptos explícitos, haciéndolo comprensible dentro de la cultura de la organización.
- **Combinación:** Es el proceso de unir, crear y organizar conocimiento explícito proveniente de diversas fuentes, mediante presentaciones, reuniones, etc. para hacerlo accesible a la organización.
- **Interiorización:** Es un proceso de incorporación de conocimientos explícitos en conocimiento tácitos, que tiene en cuenta las experiencias adquiridas en la puesta en práctica de los nuevos conocimientos.

Para la aplicación del modelo de Nonaka y Takeuchi al SENA, el grupo de líderes de Gestión del conocimiento elaboró un esquema que describe los componentes que lo constituyen, a saber, el liderazgo, la gestión del cambio, y las etapas del ciclo de identificación, creación y captura, codificación, así como la validación, la comunicación, el uso y el almacenamiento. Estas etapas están enmarcadas en cultivar, evaluar y medir la creación y generación del conocimiento en la organización (ver Figura 2)(Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018b).

Es importante considerar que la creación o generación del conocimiento en el SENA involucra una diversidad de actores que intervienen en todos los procesos formativos, de gestión, de apoyo al empresario y al emprendedor, al gobierno y la sociedad en general.

No obstante la cantidad de modelos de gestión del conocimiento existentes, y los avances realizados en el sistema de gestión del conocimiento del SENA, muchas investigaciones coinciden en que hacen falta herramientas efectivas para mejorar la manera como los individuos y los grupos crean, moldean, transforman y transfieren el conocimiento (Eppler, 2001). Entre las técnicas que existen actualmente, se encuentran los mapas de conocimiento. Hoy en día, este concepto ha atraído la atención de los científicos en una variedad de disciplinas académicas y profesionales; las áreas más exploradas en este campo se refieren principalmente al uso de herramientas y metodologías para la creación y gestión de mapas de conocimiento, en contraste, son pocos los estudios sobre la adopción de mapas de conocimiento (Balaid, Abd Rozan, Hikmi, & Memon, 2016). Adicionalmente, existen

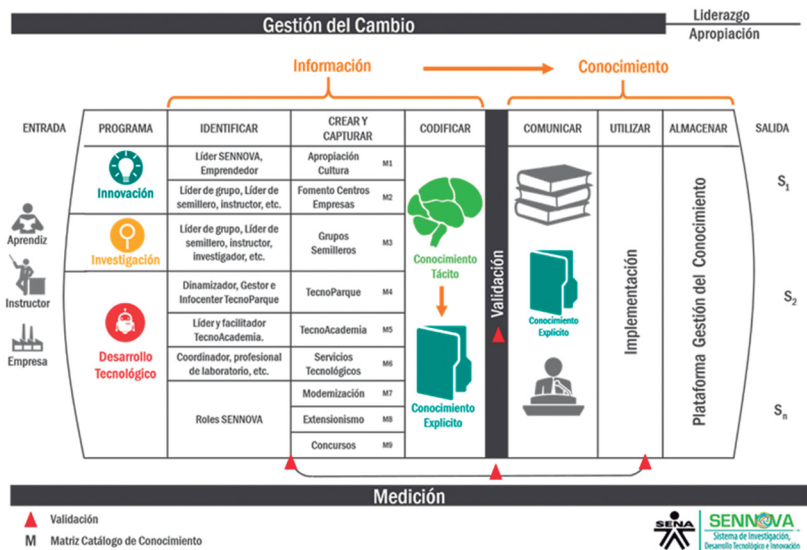


Figura 2. Esquema adaptado al SENA del modelo de gestión de Conocimiento.
Fuente (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018b)

otras corrientes de investigación para mapas de conocimiento tales como análisis de red, visualización de información y minería de texto.

Los mapas de conocimiento son una herramienta de visualización de los activos de conocimiento de una organización que ayuda a describir qué, cómo y dónde acceder al conocimiento (Eppler, Mengis, & Bresciani, 2008; Young, 2010). De lo anterior, puede inferirse que los mapas de conocimiento son una herramienta de identificación, visualización y localización del conocimiento de expertos y del conocimiento inmerso en procesos y documentos, así como del flujo de este dentro de una situación específica en un contexto particular. Los mapas de conocimiento brindan un punto de partida para identificar y estrechar las brechas de conocimiento, eliminar la duplicidad y reconocer flujos de información y conocimiento y la manera cómo estos contribuyen al logro de las metas organizacionales (Dalkir, 2005).

Entre los beneficios más importantes de un mapa de conocimiento se encuentra: el mostrar a las personas en una organización a dónde ir y a quién preguntar cuándo necesitan acceder al conocimiento, ayudar a establecer vínculos claros entre los activos de conocimiento existentes, aumentar la transparencia y reducir la complejidad dentro de los contextos de las organizaciones, así como evitar la superposición y actividades repetitivas (Balaid et al., 2016). Por otra parte, pueden ayudar a la planificación estratégica sobre los tres dominios de

acción: 1. El mundo en el que vivimos, 2. El mundo en que deberíamos vivir, y 3. El conocimiento que debemos crear; y servir como base para la transferencia de conocimiento y la implementación de programas de gestión del conocimiento.

Logan y Caldwell (2000), clasificaron los mapas de conocimiento en tres tipos: conceptual, competencia y proceso. Un mapa de conocimiento conceptual articula las relaciones entre fuentes de conocimiento dentro de las organizaciones, mientras que un mapa de competencia se utiliza para mostrar las relaciones entre las personas y el conocimiento dentro de las organizaciones. Por otra parte, un mapa de conocimiento del proceso, es utilizado para describir actividades u procesos organizacionales, conteniendo principalmente el conocimiento explícito (Perez, 2010).

A pesar de que se requieren más investigaciones sobre los mapas de conocimiento, antecedentes demuestran que los mismos son una estrategia para incrementar la efectividad de las organizaciones y pueden ser utilizados para fomentar, capturar, generar, transferir, codificar, almacenar y utilizar el conocimiento dentro de las organizaciones y dentro de los proyectos (Balaid et al., 2016). Por lo anterior, este artículo presenta el primer acercamiento al mapa de conocimiento del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial del SENA en la ciudad de Cali, en delante referido como SENNOVA-

CEAI, con el objetivo de visibilizar el flujo de los procesos, las relaciones entre los programas, las líneas programáticas y los conocimientos claves en SENNOVA-CEAI, así como las capacidades, competencias, recursos, documentos, procedimientos y tecnologías que están vinculados a dichos procesos.

MÉTODO

El SENA ha implementado a través de los últimos años una serie de herramientas necesarias para el desarrollo de la gestión del conocimiento; es así como en el año 2018 se inició la construcción de los catálogos de conocimiento a partir de la metodología utilizada por el Grupo de investigación en Gestión de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en la Institución Prestadora de Servicios de Salud de la Universidad de Antioquia. Este grupo, adscrito a SENNOVA, se encuentra reconocido por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias (COL0110481) y además, pertenece al Centro de comercio de Medellín, regional Antioquia.

Los catálogos de conocimiento describen las actividades, los conocimientos y las brechas asociados a cada proceso dentro de la organización en el marco del ciclo PHVA: Planear, hacer, verificar y actuar. Para la elaboración de los catálogos de conocimiento de SENNOVA, el equipo de líderes de conocimiento del SENA primero realizó la definición y descripción de cada una de las actividades de los

macroprocesos de cada línea programática. Posteriormente, llevó a cabo la identificación de conocimientos a partir de las actividades del proceso utilizando como referencia los conocimientos construidos a partir de la práctica de los expertos de cada línea programática teniendo en cuenta: el conocimiento práctico-laboral, el conocimiento teórico-académico, los valores humanos y sociales y la resolución de problemas. Finalmente, realizó la caracterización de conocimientos según su grado de desarrollo (habilidad), su grado de codificación y su grado de difusión, con el fin de establecer las brechas y las herramientas de cierre de brechas asociadas a cada conocimiento.

Estos catálogos de conocimiento fueron utilizados como insumo para la construcción del primer mapa de conocimiento de SENNOVA-CEAI. Adicionalmente, con el objetivo de identificar los recursos de conocimiento, se realizó el acopio de información respectivo con los expertos del centro de formación para filtrar las capacidades, recursos, competencias y tecnologías que están vinculados a los procesos que desarrolla el centro en el marco de SENNOVA. Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica de la información consignada dentro de la plataforma CompromISO para recopilar los documentos y procedimientos oficiales relevantes en la investigación.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Estructura de SENNOVA y SENNOVA-CEAI

En el Acuerdo 003 de 2012 (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2012b) por el cual se imparten políticas y directrices para el manejo de la inversión para la competitividad y el desarrollo tecnológico productivo, se establecieron los elementos esenciales para madurar el proceso de gestión de la innovación y la competitividad que posteriormente se denominó Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del SENA, “SENNOVA”. Este sistema tiene como ejes la sociedad, la pedagogía, la formación profesional e investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación; cada uno de estos ejes se desarrolla a través de líneas programáticas que corresponden de manera general a los Acuerdos 009 de 2010 y 016 de 2012 (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2010, 2012a) y cada línea programática tiene a su vez, actividades, indicadores, metas y recursos definidos (ver Figura 3).



Figura 3. Programas y líneas programáticas SENNOVA

Fuente (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018c)

En el Centro CEAI, se desarrollan los tres programas establecidos a nivel nacional para la operación del sistema SENNOVA a saber: Innovación, investigación aplicada y desarrollo tecnológico; sin embargo, sólo algunas líneas programáticas vinculadas a dichos programas son ejecutadas. El programa de innovación tiene por objetivo generar capacidades locales y regionales en apropiación de la ciencia y tecnología y promover la cultura de la innovación, así como desarrollar herramientas y competencias en gestión de la Innovación en centros de formación y empresas (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018c). Se divide en las líneas Fomento a centros y empresas y Apropiación-cultura, ambas ejecutadas en SENNOVA-CEAI.

El programa de investigación tiene por objetivo generar capacidad en investigación aplicada y desarrollo experimental, fortalecer las capacidades en formulación de proyectos de I+D a través de la línea de grupos y semilleros de investigación orientados a la innovación tecnológica y social. Por otra parte, el programa de desarrollo tecnológico comprende las líneas programáticas de: Tecnoparque, Tecnoacademia, Extensionismo, Servicios tecnológicos, Modernización tecnológica y concursos (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2011). El centro CEAI desarrolla únicamente las tres últimas líneas programáticas.

Las líneas de Tecnoparque y Tecnoacademia son aceleradores que promueven y estimulan la productividad

y competitividad para las empresas y las regiones de Colombia, así como las competencias de estudiantes de educación básica y media de instituciones educativas públicas y privadas, respectivamente. Dichas líneas operan a través de redes en nodos que se encuentran a cargo de un centro de formación específico, en el caso del nodo de Cali, el Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - ASTIN es el operador.

Propuesta del Mapa de conocimiento SENNOVA-CEAI

En la Tabla 1 se describen los conocimientos clave definidos por el grupo de trabajo de líderes de gestión del

conocimiento con el acompañamiento del Grupo de investigación en Gestión de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico (COL0110481). Se definieron 24 conocimientos clave para SENNOVA con base en el conocimiento práctico-laboral, el conocimiento teórico-académico, los valores humanos y sociales y la resolución de problemas; entre ellos se destacan la formulación de proyectos, la gestión de proyectos, la Gestión de procesos de Ciencia, tecnología e innovación (CTI), la gestión de la información, la gestión administrativa y la gestión financiera como ejes asociados casi a la totalidad de los procesos que se derivan de las líneas programáticas.

Tabla 1.
Conocimientos unidad definidos para SENNOVA

CONOCIMIENTO	DEFINICIÓN
Estrategias comunicativas de la organización	Diseñar acciones de sensibilización y orientación con el fin de evaluar la implementación y los resultados. La comunicación organizacional consiste en el proceso de emisión y recepción de mensajes dentro y fuera de una organización. Debe tener una intencionalidad clara.
Diagnosticar	Son el o los resultados producto de un estudio, evaluación o análisis sobre determinado ámbito u objeto. El diagnóstico tiene como propósito reflejar la situación de un proceso, estado o sistema para que luego se realice una acción.
Priorizar	Son el o los resultados producto de una clasificación y evaluación de ideas proyecto de acuerdo a unos impactos y escala previamente definidos. La priorización tiene como propósito seleccionar ideas y dejar un portafolio de proyectos para cada centro.
Redacción científica	Comprende los criterios de claridad, precisión, síntesis, formalidad y validación del conocimiento dentro del mundo académico

Continuación Tabla 1

CONOCIMIENTO	DEFINICIÓN
Formulación de proyectos	Es el procedimiento general u organizado para recopilar, crear y sistematizar información que permita identificar soluciones, medir cuantitativamente los costos e impactos del efecto del proyecto en su entorno en términos técnicos institucionales, sociales, económicas, ambientales etc, de un evento del proyecto.
Gestión de proyectos	Disciplina de organizar y administrar los recursos de forma tal que un proyecto dado sea terminado completamente dentro de las restricciones de alcance, tiempo, y coste planteados a su inicio, incluye el seguimiento y cumplimiento de los resultados
Gestión de la formación	Es el conjunto de actividades que se realizan desde la identificación de las necesidades de formación, hasta la realización y evaluación de las diferentes acciones formativas identificadas, de forma que se garantice la capacitación de los usuarios en las áreas identificadas en el Plan de Formación.
Gestión de procesos de Ciencia, tecnología e innovación (CTI)	Conocimiento del sistema de CTI, su organización, flujos y condiciones, con el objetivo de resolver problemas y / o generar articulaciones entre los diferentes actores, que permitan desarrollar proyectos que contribuyan al desarrollo del colectivo social, abarcando todas las actividades relacionadas para transformar ideas en resultados de investigación, desarrollo e innovación.
Elaboración de perfiles del recurso humano	Es un método de recopilación de los requisitos, calificaciones, conocimientos y competencias personales y profesionales exigidos para el cumplimiento satisfactorio de las tareas y funciones de un rol o proceso.
Elaboración de perfiles tecnológicos	Es un método de recopilación de los requisitos y calificaciones técnicas y tecnológicas exigidos para el cumplimiento satisfactorio de las tareas de un proceso.
Método científico	Proceso ordenado y riguroso que consiste en la observación sistémica, medición, experimentación, formulación, análisis y modificación que tiene como finalidad dar respuesta a una hipótesis para producir nuevos conocimientos con validez científica.
Herramientas y técnicas de trabajo y creación colaborativa	Estrategias didácticas para promover el trabajo en pequeños grupos colaborativos aunando esfuerzos individuales, utilizando herramientas y técnicas de ideación creativa para obtener resultados o productos.

Continuación Tabla 1

CONOCIMIENTO	DEFINICIÓN
Gestión de la información	Se refiere a la adquisición de información de una o más fuentes, la custodia y la distribución de esa información a aquellos que la necesitan, y su disposición final a través del archivado.
Indicadores científicos	Es la medición cualitativa y/o cuantitativa objetiva de las ideas, conceptos, conocimientos y resultados, que tiene por objetivo guiar y verificar el proceso de investigación.
Evaluación de impacto	Indicador del efecto del proyecto en su entorno en términos técnicos, institucionales, sociales, económicos, ambientales, etc.
Conocimiento técnico y científico	Conocimiento científico se refiere a un proceso basado en la investigación en el cual el hombre organiza la información basada en principios y teorías científicas, que ha adquirido con el tiempo a través de experiencias y práctica. Requiere del uso de herramientas o instrumentos. Por ejemplo las líneas de tecnocracia y tecnoparque.
Gestión administrativa	Forma en que se planean, organizan, direccionan, controlan, disponen y ejecutan los recursos orientados a la recopilación de información para el cumplimiento de planes establecidos.
Normatividad de Contratación Pública	Son actos jurídicos generadores de obligaciones que celebren las entidades estatales, basado en una normatividad y reglamentación; y la guía para la contratación de actividades de ciencia tecnología e innovación. En Colombia es la Ley 80 de 1993 y la circular 6 Colombia compra eficiente.
Plan de acción (Lineamientos) SENNOVA	Es un documento divulgado anualmente por la coordinación SENNOVA donde se estipulan las orientaciones para la ejecución del sistema SENNOVA según documentos formales que se encuentran en compromISO y corresponden a las directrices y procedimientos.
Estrategia de difusión	Acciones de comunicación y publicaciones que permiten la promoción de eventos, servicios y resultados de investigación, para fomentar la visibilidad e impacto de las líneas programáticas a nivel nacional e internacional y su apropiación social.
Gestión financiera	Sistema de control y registro de los gastos e ingresos y demás operaciones económicas que se realizan en SENNOVA
Vigilancia tecnológica	Es un proceso organizado, selectivo y permanente, de captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios

Continuación Tabla 1

CONOCIMIENTO	DEFINICIÓN
Gestión y Auditorías de la Calidad	La gestión de la calidad utiliza el control de procesos para identificar la calidad de productos, servicios y/o la satisfacción de los clientes. Mediante actividades que permiten hacer seguimiento y control a los procesos y así evidenciar su rendimiento según la norma ISO 170025
Planeación y logística	Corresponde a la planificación y previsión de actividades para la realización de eventos, transporte y gestión de materiales, equipo y herramienta.

Fuente: (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018b)

El primer modelo del mapa de conocimiento desarrollado para SENNOVA-CEAI con base en la información consignada en los catálogos de conocimiento, se presenta en la Figura 4. Mapa de conocimiento propuesto para SENNOVA-CEAI. Éste se encuentra dividido en cuatro zonas destinadas a los programas, las líneas programáticas, los procesos y los conocimientos claves asociados a SENNOVA-CEAI. Cabe destacar que los procesos que tienen asociados mayor número de conocimientos clave son: La investigación, la vigilancia tecnológica, la redacción de proyectos, la oferta de servicios tecnológicos y el alistamiento, es decir que estos procesos son primordiales para la organización y requieren el desarrollo consciente de herramientas que permitan su desarrollo adecuado y divulgación.

Por otra parte, entre los conocimientos claves más destacados se encuentran: la formulación de proyectos, la gestión de proyectos, la Gestión de procesos de Ciencia, tecnología e innovación (CTI),

la gestión de la información, la gestión administrativa y la gestión financiera. En el caso de la Formulación de proyectos se identificó insuficiente capacitación en el tema, mientras para la Gestión de procesos de Ciencia, tecnología e innovación (CTI) las brechas de conocimiento se refieren a la falta de entendimiento del sistema CTI, su estructura y su funcionamiento, así como a la falta de consistencia de la información manejada en las plataformas de Colciencias y SENNOVA. Por otra parte, respecto a la Gestión de la información, existe una brecha en el seguimiento de evidencias documentadas en las plataformas producto del proceso de investigación, además, se requiere hacer seguimiento a la documentación producto de las actividades de los semilleros y estandarizar la información tal como formatos, manuales y documentos de control que se maneja en los laboratorios.

Generalmente, los recursos de conocimiento también hacen parte de los mapas de conocimiento. Estos representan

el capital social, el capital tecnológico, el capital financiero (García-Alisina & Gómez-Vargas, 2015) y el capital de información involucrados en los procesos de la organización. Para el estudio del caso de SENNOVA-CEAI se consideraron como recursos las competencias profesionales y capacidades del centro, los recursos financieros y de infraestructura, así como los recursos documentales. Esta información no se incluyó directamente en el mapa para

Fuente: Elaboración propia

Competencias de conocimiento del CEAI

El CEAI es un centro líder en la formación profesional en las áreas de electricidad, electrónica, automatización industrial y teleinformática; actualmente cuenta con 12 programas técnicos de formación ,11 programas tecnológicos y 2 especializaciones tecnológicas, los cuales se describen a continuación (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018a).

evitar su saturación, sin embargo, se describen en los siguientes apartados.

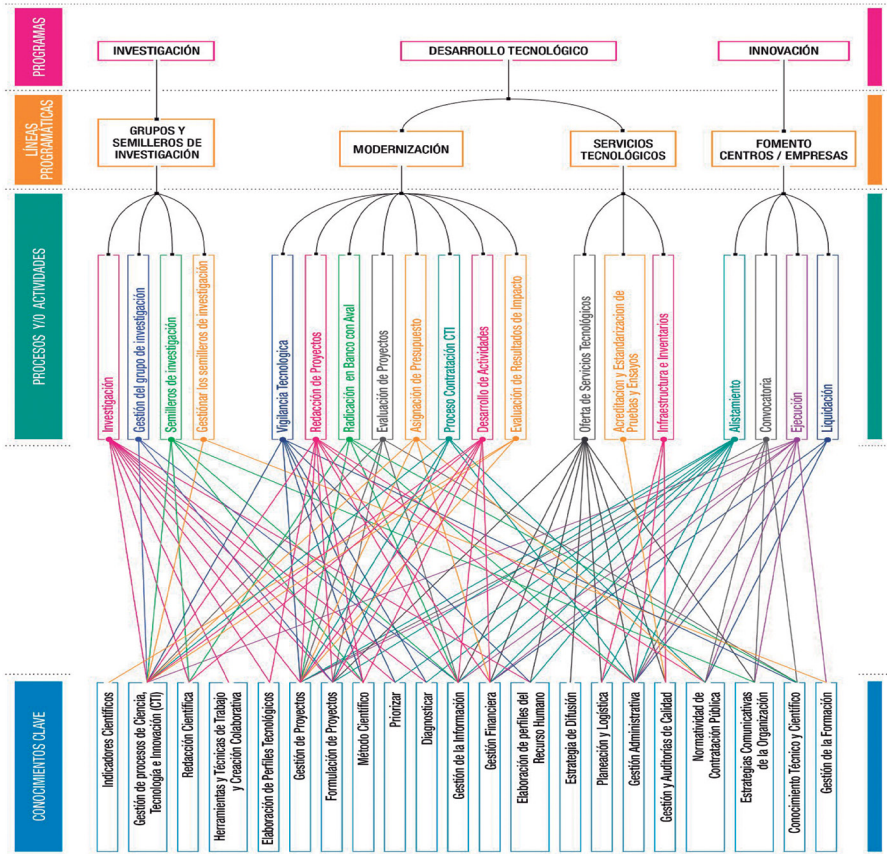


Figura 4. Mapa de conocimiento propuesto para SENNOVA-CEAI

- **Programas técnicos**

- » Asistencia administrativa.
- » Recursos humanos.
- » Programación de software.
- » Seguridad ocupacional.
- » Sistemas.
- » Instalaciones eléctricas residenciales.
- » Mantenimiento de equipos de refrigeración, ventilación y climatización.
- » Instalaciones eléctricas de baja tensión.
- » Informador turístico local.
- » Implementación y mantenimiento de equipos electrónicos industriales.
- » Manejo ambiental.
- » Diseño del producto.

- **Programas tecnológicos**

- » Análisis y desarrollo de sistemas de formación
- » Automatización industrial
- » Mantenimiento electrónico e instrumental industrial
- » Electricidad industrial
- » Mantenimiento de equipos de cómputo, diseño e instalación de cableado estructurado
- » Supervisión de redes de distribución de energía eléctrica
- » Gestión de ciclo de vida del producto
- » Mantenimiento eléctrico industrial
- » Gestión de redes de datos
- » Formulación de proyectos
- » Gestión de la productividad industrial

- **Especializaciones Tecnológicas**

- » Especialización tecnológica en

seguridad en redes de computadores.

- » Especialización en tecnológica en desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles.

Capacidades del CEAI

- **Capacidades en investigación aplicada**

El grupo de investigación Unidad de Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e innovación UIADTI (Figura 5. Logo del grupo de investigación Unidad de Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e innovación UIADTI), representa al CEAI a nivel nacional con los desarrollos que realiza el centro, actualmente además de contar con el aval institucional del SENA, se encuentra reconocido en el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias, categorizado en C. Este grupo realiza al interior de la institución la captura de conocimiento, de acuerdo a lo establecido por los lineamientos del plan de acción de SENNOVA y debe responder por indicadores y metas propuestas para un periodo de 4 años (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2011).

Entre sus líneas de investigación se encuentran:

- Análisis, diseño y fabricación de equipos y sistemas eléctricos y automatizados.
- Análisis diseño fabricación y ensamble de prototipos, equipos y sistemas electrónicos.
- Análisis y desarrollo de aplicaciones teleinformáticas multiplataforma.



Figura 5. Logo del grupo de investigación Unidad de Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e innovación UIADTI

Además, posee 5 Semilleros de investigación que contribuyen al desarrollo de actividades:

- Semillero de investigación de energía eléctrica SIEE
- Semillero de investigación de electrónica SIE
- Semillero de investigación de investigación SII
- Semillero de investigación de automatización SIA

- Semillero de investigación de teleinformática SITI

El grupo de investigación está compuesto por 13 instructores vinculados y 30 instructores que participan en las actividades de los 5 semilleros de investigación, adicionalmente, cada año se vinculan a los semilleros alrededor de 100 aprendices. Respecto a la producción académica, el grupo UADTI se destaca por poseer en su historial un alto número de productos académicos desarrollados conforme a los lineamientos de la tipología de productos establecida por Colciencias. Entre los resultados destacables el grupo de investigación del centro se encuentran los proyectos, la participación en eventos científicos, así como la elaboración de prototipos y la producción bibliográfica de otros libros (ver Figura 6).

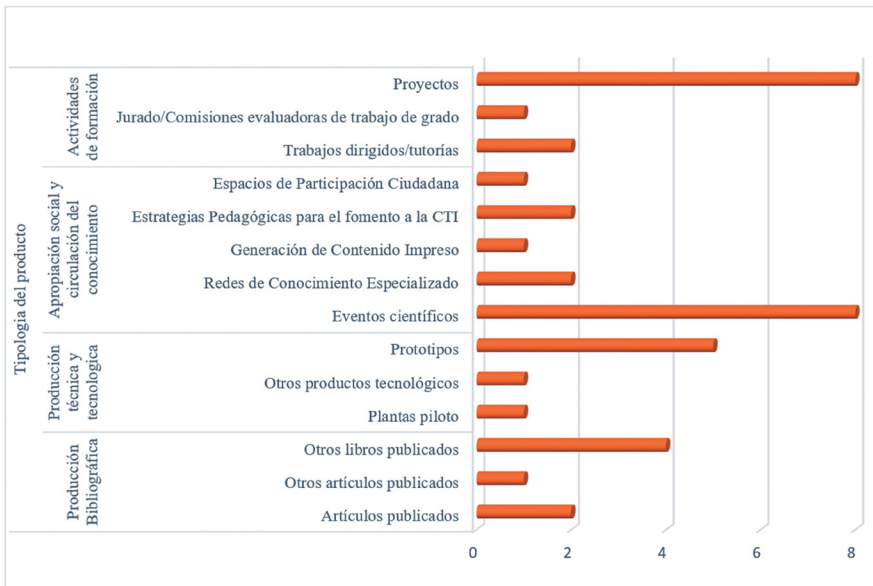


Figura 6. Producción académica UIADTI (2010-2017)

Capacidades en Innovación e investigación aplicados a proyectos

En el periodo entre el año 2014 y el año 2018 se han desarrollado 16 proyectos en el centro por medio de las convocatorias de SENNOVA. Estos proyectos han contado con la participación de empresas, instructores e investigadores y han permitido además que los aprendices de las diferentes especialidades y semilleros de investigación se involucren activamente en los procesos de conocimiento. Entre los proyectos a destacar se encuentran (Ver Figura 7. Proyectos destacados en el

programa de innovación e investigación):

1. Desarrollo e Implementación de Un Sistema de Control Eléctrico Eficiente y Automatizado Basado en el Uso de Electrónica Embebida y de Aplicaciones Teleinformática Multiplataforma (Investigación) 2014.
2. Valoración de metodologías de sintonía de controladores PID para implementar mejoras en el control de plantas de procesos continuos (Investigación) 2017.
3. Desarrollo de una arquitectura tecnológica basada en televisión digital

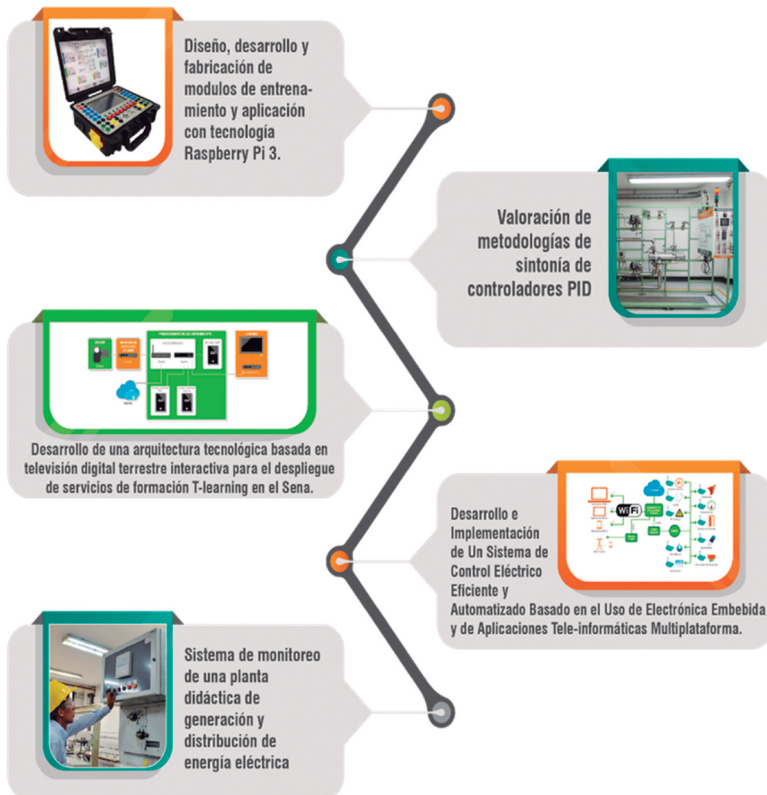


Figura 7. Proyectos destacados en el programa de innovación e investigación

terrestre interactiva para el despliegue de servicios de formación T-learning en el SENA (Innovación) 2018.

4. Modernización de ambientes de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación del CEAI, SENA. (modernización tecnológica) 2017.
5. Sistema de monitoreo de una planta didáctica de generación y distribución de energía eléctrica (innovación) 2016.
6. Diseño, desarrollo y fabricación de módulos de entrenamiento y aplicación con tecnología Raspberry Pi 3 (investigación) 2018.

Estos proyectos han permitido potenciar las capacidades de investigación e innovación en los aprendices de la formación profesional y desarrollar tecnologías modulares en el centro en áreas como: electricidad, electrónica, automatización y teleinformática. Es importante destacar que los proyectos de fortalecimiento de servicios tecnológicos, han permitido además, visibilizar al CEAI como referente en la prestación de servicios tecnológicos de diseño y ensamble electrónico, montaje y mantenimiento eléctrico, en este campo, se encaminan esfuerzos para implementar tecnologías avanzadas de inspección para control de calidad como son la termometría de radiación de rayos X. Adicionalmente, para la convocatoria de proyectos SENNOVA del año 2019, el CEAI presentó 8 proyectos, los cuales se espera sean desarrollados en el transcurso del año.

119 de 1994, le corresponde al SENA prestar servicios Tecnológicos a las empresas del país. Estos servicios se prestan con el objetivo de que las organizaciones mejoren sus sistemas y procesos de producción, eleven la calidad de sus productos y generen ventajas competitivas para lograr mantenerse y crecer en el mercado globalizado.

El Área de Innovación y Competitividad del Centro de Electricidad y Automatización Industrial CEAI es coordinada por SENNOVA y está conformada por la Unidad de Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación, UIADTI y los Semilleros de Investigación del centro, estos actores hacen parte de la prestación de servicios tecnológicos a las empresas, instituciones y comunidades del país a través de servicios de asesoría, consultoría, servicios de asistencia técnica, servicios de investigación aplicada y fabricación especial. El portafolio de servicios del centro se presenta en la Figura 8 Portafolio de servicios tecnológicos del CEAI. (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2015). Con respecto a proyectos en desarrollo tecnológico, se destaca el de Inspección y diagnóstico avanzado en el programa de prestación de Servicios Tecnológicos de investigación y fabricación especial 2018.

Capacidades en Desarrollo tecnológico

De acuerdo con lo establecido en la Ley



Figura 8 Portafolio de servicios tecnológicos del CEAI.
Fuente (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2015)

Recursos humanos-Roles

Cada uno de los actores de la comunidad tiene un rol asignado en SENNOVA por lo que debe realizar un trabajo en equipo y de forma integral con el fin de favorecer las actividades de la entidad y generar resultados productivos y positivos para el país. Cada líder tiene un plan anual de trabajo y además formula y responde por el plan anual del grupo de investigación,

del semillero, de gestión del conocimiento entre otros, y el plan anual de SENNOVA, el cual corresponde al líder SENNOVA de cada centro. El número de profesionales vinculados al CEAI como líderes se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2*Personal vinculado al CEAI año 2018*

Nro.	Cantidad	Rol SENNOVA
1	1	Líder SENNOVA
2	1	Líder de grupo de investigación
3	1	Líder de gestión del conocimiento
4	5	Líder de semillero
5	8	Laboratorista de servicios tecnológicos

Líder de Grupo de Investigación apoya las actividades de investigación, así como la implementación de los planes de trabajo de los grupos de investigación; además, mantiene continuo relacionamiento con los actores del sistema de Ciencia, Tecnología e innovación (Empresas, Comunidad, etc.) y con todos los roles SENNOVA. Dentro de sus funciones se encuentra revisar y aportar constructivamente a los planes de trabajo de los diferentes actores en las líneas de investigación del grupo así como los planes de trabajo de semilleros de investigación del centro, además de cumplir y establecer estrategias, planes y acciones teniendo en cuenta lo estipulado en la guía de Investigación Aplicada (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018c).

Líder de Semillero tiene la función de orientar y acompañar la formulación y ejecución de los proyectos de I+D+i del semillero, validar la generación de los productos y entregables asociados a los proyectos que se ejecuten; coordinar la participación del Semillero en eventos de divulgación tecnológica y encuentros

de semilleros de investigación locales, regionales, nacionales e internacionales, presentando los proyectos y resultados de investigación. Debe articular el semillero de investigación con los diferentes actores del Centro de Formación, Sistema SENNOVA y sector productivo y académico. Contribuir con la investigación del grupo del centro de formación con productos y resultados según se estipule en los planes de trabajo del grupo. Cumplir y establecer estrategias, planes y acciones teniendo en cuenta lo estipulado en la guía de Investigación Aplicada. Puede ser Instructor- Investigador de planta, temporal o contratista (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018c).

Líder Gestión de Conocimiento se encarga de apoyar la implementación de sistemas de gestión de conocimiento, así como compilar y sistematizar la información necesaria para la correcta codificación y clasificación de la información de la entidad. Adicionalmente, apoya los procesos que se generen a nivel de captura de la información derivado de los procesos de grupos y semilleros. Cada regional posee un líder de gestión del conocimiento.

Líder SENNOVA es el encargado del Desarrollo e implementación de la plataforma Gestión de conocimiento, compilación y sistematización de la producción académica. Además, apoya la gestión de las líneas programáticas de SENNOVA en el Centro, gestiona la formulación de proyectos de las líneas programáticas SENNOVA y hace el respectivo registro y seguimiento, en el sistema de información

y gestión de proyectos SGPS. Mantiene la cohesión, actualización y organización de la información de los miembros que conforman los grupos y semilleros de investigación. Elabora el plan anual de eventos de divulgación de productos y resultados de las actividades y proyectos de innovación y desarrollo tecnológico. Apoya todos los procesos que se generen a nivel administrativo derivado de los procesos de grupos, semilleros, con el objetivo de que avancen correctamente y se culminen con éxito. Por último, realiza seguimiento y asesoría en temas SENNOVA a todos los proyectos del centro (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2018c).

Aprendices: Es toda persona que reciba formación en el SENA, se reconoce con el perfil de libre pensador, con capacidad crítica, solidario, emprendedor creativo y líder.

Instructores: Sujeto que participa en el proceso de enseñanza-aprendizaje, quien asume el rol de facilitador del aprendizaje, orientador y apoyo, quien retroalimenta y evalúa al aprendiz durante su proceso formativo, haciendo uso de distintas técnicas didácticas activas bajo la estrategia de aprendizaje por proyectos, la cual le permite contribuir en su propio aprendizaje (Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, 2009)

Recursos de infraestructura

El CEAI posee espacios adecuados específicamente para las actividades que desarrolla el centro, tales como:

los talleres de electricidad, electrónica, PLC, comunicaciones industriales, neumática, electroneumática, hidráulica e instrumentación industrial. En la Tabla 3 se presentan los ambientes de formación que posee el centro y son usados para el desarrollo de proyectos, mientras la Tabla 4 relaciona los espacios utilizados para la prestación de servicios tecnológicos.

Tabla 3

Ambientes de formación utilizados como apoyo a los proyectos de investigación SENNOVA

Nro.	Cantidad	Ambientes de formación apoyo a proyectos SENNOVA
1	1	Comunicaciones industriales
2	1	Sistemas electrónicos de potencia
3	4	Informática
4	1	Sistemas electrónicos microcontroladores
5	1	Desarrollo de productos electrónicos
6	1	Sistemas electrónicos analógicos
7	1	Sistemas electrónicos digitales
8	1	Implementación de sistemas electrónicos
9	1	instrumentación industrial
10	1	Laboratorio experimental de televisión digital IPTV
11	1	Gestión de ciclo de vida de producto
12	1	Desarrollo de productos

Tabla 4

Ambiente de formación utilizado para el desarrollo de servicios tecnológicos SENNOVA

Nro.	Cantidad	Servicios tecnológicos
1	1	Laboratorio de servicios tecnológicos, áreas de diseño y ensamble electrónico, montaje y mantenimiento eléctrico

Recursos documentales

La normatividad específica que maneja SENNOVA-CEAI es transversal a la organización en todos los centros del país e involucra algunos de los siguientes documentos relevantes:

- Constitución Política de Colombia Artículo 16 – Ley 344 de 1996
- Ley 1607 de 2012 - Reforma Tributaria 2012
- Ley 29 de 1990 – Ley de CyT
- Decreto - Ley 591 de 1991
- Decreto – Ley 393 de 1991
- Ley 80 de 1993
- Ley 1150 de 2007
- Ley 1286 de 2009 – Reforma de ley de CyT
- Demás Decretos reglamentarios
- Circular No. 6 Circular Externa No. 6 del 27 de septiembre de 2013 de la Agencia deContratación Pública – Colombia Compra Eficiente
- Acuerdo 16 de 2012 (SENNOVA)
- Ley 344 de 1996, artículo 16
- Decreto 1426 de 1998 Nomenclatura y clasificación empleos SENA

- Compromisos institucionales descritos en las Bases del Plan Nacional de
- Desarrollo 2014 -2018, Plan Estratégico Sectorial y documentos CONPES
- Ley 1838 de 2017, “Por la cual se dictan normas de fomento a la Ciencia, Tecnología e
- Innovación, mediante la creación de empresas de base tecnológica (SPIN OFFS) y se
- dictan otras disposiciones”
- Proceso de GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y LA COMPETITIVIDAD: Caracterización y documentos del proceso
- Lineamientos para el desarrollo del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo
- Tecnológico: SENNOVA
- Lineamientos para la ejecución de las líneas programáticas en los centros de formación.
- Metas de producción académica y científica
- Documentos COLCIENCIAS evaluación y categorización de Grupos de Investigación.
- Proyectos de plataforma de Gestión del Conocimiento y plataforma SENNOVA.

Respecto a las plataformas utilizadas para la gestión de la información, se encuentran entre otras, el sistema SGPS, la plataforma CompromISO y la plataforma de gestión del conocimiento, cada una cumple un papel fundamental en los procesos y actividades que se desarrollan en las diferentes líneas programáticas de SENNOVA. Por ejemplo, el SGPS posibilita la presentación de los

proyectos a las diferentes convocatorias, descargar los documentos y lineamientos que se generan desde la coordinación de SENNOVA, además de presentar los resultados e indicadores más relevantes. Por otra parte, la plataforma de gestión del conocimiento posibilita la integración de los diferentes procesos que se llevan a cabo en las líneas programáticas y contiene la información de todos los grupos y semilleros de investigación a nivel nacional. El aplicativo CompromISO es la plataforma del sistema integrado de gestión y autocontrol del SENA donde se encuentran todos los documentos del sistema de gestión para consulta.

Recursos financieros del Centro

Los recursos económicos ejecutados que son destinados por el SENA anualmente para la operación de SENNOVA y las labores de investigación, innovación y desarrollo tecnológico en la región pacífico se presentan en la Figura 9. Alrededor del 85% del total de recursos manejados en el 2014 se destinaron al Valle, sin embargo, en los años posteriores se observa una reducción continua del presupuesto, hasta alcanzar en el 2018, el 59.9%. Por otra parte, también se observa una tendencia similar en el comportamiento del presupuesto para el Centro CEAI con respecto al presupuesto del Valle, ya que los recursos económicos pasaron de representar el 12.9% en el 2014 a ser sólo el 6.6% en el 2018.

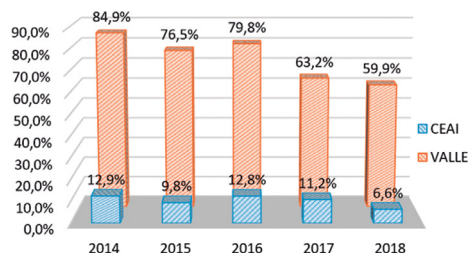


Figura 9. Recursos CEAI vs Valle

Fuente: Elaboración propia

La reducción del 41.07% del presupuesto del Centro-CEAI para el 2018 respecto al año inmediatamente anterior, se debe a que los recursos de modernización fueron destinados al proyecto de construcción de la nueva sede del Centro Náutico y Pesquero de Buenaventura, el cual tendrá 32 ambientes y beneficiará a los aprendices de Buenaventura, Guapi, Tumaco, Vijes, Dagua, Timbiquí, Darién y Yotoco, entre otros municipios de la costa pacífica.

La distribución de recursos dentro del Centro-CEAI entre los años 2014 y 2018, se esquematiza en la Figura 10. Los principales rubros dentro del centro en los años de estudio son Servicios tecnológicos, investigación-grupos y semilleros, fomento y cultura de la innovación. En los años 2016 y 2017 adicionalmente se incluyeron recursos para Modernización, mientras en el 2018 se destaca la inversión en gestión del conocimiento. Estos indicadores económicos demuestran que la Gestión del conocimiento ha cobrado relevancia en la dinámica de SENNOVA-CEAI y que espera un fortalecimiento de la oferta de servicios tecnológicos que maneja el centro.

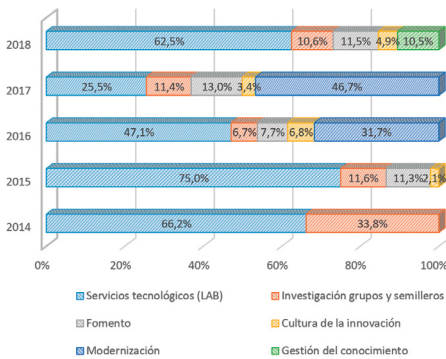


Figura 10. Recursos líneas programáticas CEAI – SENNOVA

Fuente: Elaboración propia

Varios autores han reportado que la implementación de la gestión del conocimiento en instituciones educativas mejora los procesos asociados a la creación, formalización, difusión y aplicación del conocimiento (García-Alisina & Gómez-Vargas, 2015; Velásquez Gaviria et al., 2007).

A pesar de que el SENA se enfoca en el desarrollo económico, tecnológico y social del país a través de la formación en programas técnicos, tecnológicos y complementarios, ha reconocido la pertinencia y relevancia de los modelos de gestión del conocimiento para el aumento de la competitividad y la innovación en sus centros de formación. Es así como los lineamientos del SENA aseguran una cultura de apoyo que fomenta y facilita la creación, el intercambio y la implementación de conocimiento.

El soporte de la dirección nacional a la gestión del conocimiento en el CEAI se refleja en la asignación reciente de recursos

financieros a la gestión del conocimiento para el cumplimiento de los objetivos SENNOVA. Igualmente, la distribución de los recursos corresponde con la importancia de los procesos asociados a las líneas programáticas de servicios tecnológicos, grupos y semilleros de investigación y fomento. Dentro de estas líneas los procesos esenciales son: La investigación, la vigilancia tecnológica, la redacción de proyectos, la oferta de servicios tecnológicos y el alistamiento. No obstante, el proceso de redacción proyectos representa uno de los eslabones claves en SENNOVA CEAI, se identificaron falencias en los conocimientos claves asociados a proyectos, tales como la formulación de proyectos, la gestión de proyectos y la gestión de procesos de Ciencia, tecnología e innovación. Estas falencias están relacionadas con la insuficiente capacitación en el tema, la falta de entendimiento del sistema nacional de CTI, así como a la ambivalencia de la información manejada en las plataformas informáticas.

Por otra parte, el rol fundamental que cumplen los grupos de investigación y semilleros dentro de SENNOVA radica en el esfuerzo que sus actores invierten en generar o crear conocimiento, tanto de carácter científico como administrativo, en consecuencia, este programa contribuye en gran medida con la producción académica del CEAI. Adicionalmente, tanto los grupos como los semilleros presentan una estructura jerárquica bien definida que contribuye a que cada uno de los roles de la estructura desarrolle actividades

tácita y explícitamente, en este sentido, la existencia de las plataformas informáticas como herramienta para capturar y organizar la información, permite además la colaboración entre los miembros de los grupos, la creación de redes y la distribución de la información. Cabe resaltar que aunque se identificó una debilidad en la consistencia de la información manejada en las plataformas de Colciencias y SENNOVA, este rasgo no parece ser exclusivo de la dinámica del SENA ya que ha sido reportado en la investigación sobre la Gestión del conocimiento en los grupos de investigación de la Universidad de Antioquia (Velásquez Gaviria et al., 2007).

La elaboración de los catálogos de conocimiento permitió determinar qué conocimientos son críticos para SENNOVA-CEAI e identificar las barreras y limitaciones de los procesos actuales, por otra parte, la elaboración del mapa de conocimiento al esquematizar la estructura de dichos procesos facilita el entendimiento de la información para los miembros de la institución. Sin embargo, estas herramientas no son suficientes para consolidar la gestión del conocimiento dentro de SENA, un diagnóstico de todo el sistema de gestión es necesario para analizar las dimensiones de los procesos desde la perspectiva individual y organizacional. Este diagnóstico permitiría evaluar la estructura del conocimiento que se deriva de las actividades administrativas, el cual se explicita en documentos como formatos, actas de reuniones, informes de seguimiento, planes de trabajo, entre otros; estandarizar la información producida en

los laboratorios y determinar la pertinencia de la elaboración de la matriz de activos de conocimiento y el análisis de los indicadores de gestión.

CONCLUSIONES

La elaboración del mapa de conocimiento de SENNOVA-CEAI a partir de los catálogos de conocimiento, permitió establecer de forma gráfica y sencilla las interacciones de los procesos con los conocimientos y establecer qué, quién y por qué se maneja el conocimiento dentro de SENNOVA –CEAI. Además, permitió determinar que ciertos procesos claves tienen brechas relacionadas con el manejo de la información y la gestión de proyectos, las cuales deben analizarse para proponer alternativas de cierre efectivas y de carácter prioritario.

Se identificaron como procesos principales dentro de la dinámica de SENNOVA-CEAI, la investigación, la vigilancia tecnológica, la redacción de proyectos, el desarrollo de actividades, la oferta de servicios tecnológicos, el alistamiento y la ejecución, esto debido a la cantidad de conocimientos con los que relacionan y la importancia que tienen dentro de las líneas programáticas y los programas de SENNOVA. Por otra parte, los conocimientos con mayor relevancia dentro del centro son: la formulación de proyectos, la gestión de proyectos, la gestión de procesos de ciencia, tecnología e innovación (CTI), la gestión de la información y gestión administrativa y financiera.

Se propone la implementación de la matriz de activos de conocimiento y el análisis de los indicadores de la gestión del conocimiento como herramientas complementarias para la gestión del conocimiento dentro de SENNOVA-CEAI, puesto que la elaboración de los catálogos y del mapa no son suficientes para identificar todos los activos y los actores relacionados con la generación de valor dentro de la organización.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Electricidad y Automatización Industrial del SENA y a la Coordinación de SENNOVA por el apoyo constante a la realización del seguimiento documental involucrado en la elaboración de este artículo y por el suministro de información, así como al grupo de líderes de gestión del conocimiento por el apoyo en las actividades desarrolladas.

REFERENCIAS

- Alfaro Calderon, G. G. ., & Alfaro García, V. G. (2012). Modelo de Gestión del conocimiento para la pequeña y mediana empresa. *Revista Sotavento* No. 20, 20, 8–21. Retrieved from <http://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm?abstractid=2230479>
- Balaid, A., Abd Rozan, M. Z., Hikmi, S. N., & Memon, J. (2016). Knowledge maps: A systematic literature review and directions for future research. *International Journal of Information Management*, 36(3), 451–475. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2016.02.005
- Briceño Moreno, M. de los Á., & Bernal Torres, C. A. (2010). Estudios de caso sobre la gestión del conocimiento en cuatro organizaciones colombianas líderes en penetración de mercado. *Estudios Gerenciales*, 26(117), 173–193.
- Dalkir, K. (2005). *Knowledge Management in Theory and Practice* (Elsevier B, Vol. 4). Oxford. doi:10.1002/asi.21613
- Eppler, M. J. (2001). Making knowledge visible through intranet knowledge maps: Concepts, elements, cases. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, 00(c), 107. doi:10.1109/HICSS.2001.926495
- Eppler, M. J., Mengis, J., & Bresciani, S. (2008). Seven types of visual ambiguity: On the merits and risks of multiple interpretations of collaborative visualizations. *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, 391–396. doi:10.1109/IV.2008.47
- Flores-Rios, B. L. ., Pino, F. J. ., Ibarra-Esquer, J. E. ., González-Navarro, F. F., & Rodríguez-Elías, O. M. (2015). Análisis de Flujos de Conocimiento en Proyectos de Mejora de Procesos Software bajo una perspectiva multi-enfoque. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas E Tecnologías de Informacao*, (14), 51–66. doi:10.17013/risti.14.51-66
- García-Alisina, M., & Gómez-Vargas, M. (2015). Prácticas de gestión del conocimiento en los grupos de investigación : estudio de un caso. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 38(1), 13–25.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). Cómo las compañías japonesas crean la dinámi-

- ca de la innovación. In *La organización creadora de conocimiento* (OXFORD Uni, pp. 60–102). México.
- Perez, C. J. (2010). Desde los mapas de conocimientos hacia los mapas de competencias. *Revista Avanzada Científica*, 13(1), 1–9.
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2009). Glosario. El Sena. Retrieved from <http://www.sena.edu.co/es-co/ciudadano/Documents/Glosario.pdf>
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2010). Acuerdo 009 de 2010: Por el cual se establecen políticas para el programa de tecnoacademias y tecnoparques. Retrieved from http://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/acuerdo_sena_0009_2010.htm
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2011). Plan Estratégico SENA 2011 – 2014 con visión 2020 “SENA de clase mundial.” Retrieved from <chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://archivo.sena.edu.co/downloads/2012/planeacion/PLAN ESTRATEGICO SENA 2011-2014.pdf>
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2012a). Acuerdo 0016 de 2012: Por el cual se regula el programa de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación y se subrogan los Acuerdos 007 de 2006 y 004 de 2008. Retrieved from http://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/acuerdo_sena_0016_2012.htm
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. Acuerdo 003 de 2012: Por el cual se imparten políticas y directrices para el manejo de la inversión para la competitividad y el desarrollo tecnológico productivo y se prorroga en su totalidad el acuerdo 008 de 2006 (2012). doi:10.1017/S0016756800148605
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2015). Servicios Tecnológicos. Retrieved from <https://www.flipsnack.com/ammdesign/portafolio-servicios-tecnologicos-ceai-sena.html>
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2018a). Centro de Electricidad y Automatización Industrial. Retrieved December 14, 2018, from <http://ceai-regionalvalle.blogspot.com/p/programas-de-formacion.html>
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. Modelo de Gestión de Conocimiento SENA (2018). Colombia.
- Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. (2018c). Plan de Acción 2018 Lineamientos.
- Solís, M., & Pérez, B. (2009). Modelos de Gestión del Conocimiento. El caso de los laboratorios del Centro Nacional ASTIN del Sena. *Revista Informador Técnico*, 73, 44–52.
- Velásquez Gaviria, M. M., Mejía Correa, A. M., & Henao Henao, D. L. (2007). Gestión del conocimiento en los grupos de investigación de excelencia de la Universidad de Antioquia. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 30(2), 137–163.
- Young, R. (Ed.). (2010). *Knowledge Management Tools and Techniques Manual*. United Kingdom: Asian Productivity Organization. Retrieved from http://www.apo-tokyo.org/publications/files/ind-43-km_tt-2010.pdf





Robótica

CONTROL DE MOVIMIENTO Y SIMULACIÓN 3D CON CINEMÁTICA COMPLETA DE UN MANIPULADOR DE 5 GDL EN EL SOFTWARE CAD CATIA DE DASSAULT SYSTEMES

TOWARDS THE KNOWLEDGE MAP OF SENNOVA-CEAI

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1625>

Recibido: 24.07.2018 Aceptado: 30.05.2019

Óscar Manuel Duque Suárez

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

oduques@sena.edu.co

Colombia

Andrés Mauricio Puentes Velázquez

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

apuentesv@sena.edu.co

Colombia

Para Citar:

Duque, O., Puentes, A. (2019) Control de movimiento y simulación 3D con cinemática completa de un manipulador de 5 GDL en el software CAD CATIA de Dassault Systèmes, Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1), 108 - 114.
doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1625>

RESUMEN

En este proyecto se definió como objetivos el control de movimiento, implementación y simulación en 3D con cinemática completa de un manipulador de 5 grados de libertad, realizado por los estudiantes de Tecnoacademia Cúcuta los cuales son de 8 instituciones de la ciudad de los grados octavo, noveno y décimo. Entre las descripciones importantes de un manipulador robótico están comprendidas en: sus grados de libertad, su configuración, su cinemática y posición articular de cada servomotor.

Los objetivos principales de este proyecto es obtener el control de movimiento y la simulación de la cinemática completa, por lo cual se realizaron las simulaciones en el software CAD CATIA 3D de Dassault Systemes. El cual consiste en crear cada tipo de las piezas en 3D del manipulador, luego ensamblarlas y simularlas para analizar su cinemática y control de movimiento.

Se desarrolló el control de los servomotores por medio de una programación grafica de arduino llamada Visualino la cual le da la capacidad al manipulador de ejecutar todos los grados de libertad incluyendo el agarre de la pinza para realizar trayectorias dándole una posición articular a cada servomotor.

PALABRAS CLAVES: Manipulador, cinemática, control, CAD CATIA, posición articular, Visualino.

ABSTRACT:

In this project the objectives of motion control, implementation and 3D simulation with complete kinematics of a manipulator of 5 degrees of freedom, made by the students of Tecnoacademia Cúcuta, which are of 8 institutions of the city of the eighth, Ninth and tenth. Important descriptions of a robotic manipulator include: its degrees of freedom, its configuration, its kinematics and joint position of each servomotor.

The main objectives of this project are to obtain the motion control and the simulation of the complete kinematics, for which the simulations were carried out in CAD CATIA 3D software from Dassault Systemes. Which consists of creating each type of 3D parts of the manipulator, then assemble them and simulate them to analyze their kinematics and movement control.

The control of the servomotors was developed by means of a graphical programming of called arduino Visualino that gives the manipulator capacity to execute all the degrees of freedom including the grip of the clamp to realize trajectories giving a joint position to each servomotor.

KEY WORDS: Manipulator, kinematics, control, CAD CATIA, articular position, Visualino.

INTRODUCCIÓN

Los avances actuales de los manipuladores han tenido un rápido y significativo progreso debido a las necesidades del mundo actual, es en este contexto que se han renovado los mecanismos y sistemas de control bajo los cuales funcionan, llevando a mejorar en la eficiencia, precisión, rapidez, confiabilidad y capacidad de los robots.

El control de robots manipuladores tiene muchas más posibilidades de continuar desarrollándose, además los beneficios que trae consigo permiten el progreso de diversas áreas para las cuales puede ser aplicada la robótica como es el caso de la medicina, la industria, la exploración y situaciones, riesgosas para el ser humano.

El control del movimiento se realiza analizando la cinemática del manipulador el cual tiene por actuadores servomotores que están programados para situarse en la posición articular deseada, El proyecto se inició con el diseño de un manipulador de 5 GDL en físico que fueron proporcionadas sus piezas por Tecnoacademia Cúcuta Sena para los estudiantes de 6 colegios de la ciudad de octavo, noveno y décimo grado, Se le realizaron a cada pieza mediciones con precisión incluyendo los servomotores en los bancos de mediciones dotados de la empresa Amatrol, obteniendo como resultado la elaboración del diseño, implementación y simulación del control del movimiento en el software Catia.

DISEÑO GENERAL DEL MANIPULADOR 5 GDL

Mediciones de cada pieza

En esta etapa se realizaron sus respectivas mediciones a cada una de las piezas y servomotores con la ayuda del banco de mediciones Amatrol que proporciona resultados precisos de las dimensiones de cada pieza a evaluar y cada servomotor.

Ensamble del manipulador

Se ensamblaron las piezas que anteriormente fueron caracterizadas por medio de sus mediciones obtenidas de acuerdo al diseño físico proporcionado por Tecnoacademia Cúcuta.

Programación de Servomotores

La programación de los servomotores MG995 se realizó en un entorno gráfico de arduino llamado Visualino, los cuales se le dio la capacidad a cada servo de ejecutar todos sus grados de libertad y el agarre de la pinza, proporcionando al manipulador de ejecutar trayectorias por medio del movimiento de cada articulación para llegar a una posición articular cada servomotor.

Diseño en CATIA V5

El diseño se desarrolló en el software CATIA V5 diseñando las piezas en 3D del manipulador de 5GDL, realizando los siguientes pasos de diseño:

- Boceto y establecimiento de las medidas.
- Creación de partes mecánicas (eslabones, pinza, servomotores).

- Comprobar las partes y ensamblar.
- Crear y animar el ensamblado.
- Crear imágenes renderizadas del diseño.
- Producir un dibujo del diseño en detalle.
- Creación de dibujos del diseño con Drafting.
- Personalización de Drafting.
- Crear vistas de proyección y vistas de sección de partes 3D.
- Posicionar las vistas en la hoja de dibujo.
- Añadir dimensiones y anotaciones a las vistas



Figura 1. Piezas caracterizadas del manipulador de 5GDL.

Fuente. Autoría propia.

Funcionamiento

Se evaluó el funcionamiento del manipulador proporcionado alimentación para verificar el movimiento de los servomotores los cuales al hacer desplazar las articulaciones intrínsecamente se corrobora su ensamble y programación correcta de cada una de ellas, llegando a cada posición articular estipulada.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas a un manipulador de 5GDL aplicándole las etapas de diseño mencionadas.

Mediciones de cada pieza

Se tomaron las mediciones de las piezas como se muestra en la figura 1 con el banco de pruebas de la empresa Amatrol como se ilustra en la figura 2.



Figura 2. Banco de pruebas de medición de la empresa Amatrol.

Fuente. Autoría propia.

Ensamble del manipulador

Se ensambla las piezas anteriormente caracterizadas y se realizó el montaje con todas las conexiones como se muestra en la figura 3.

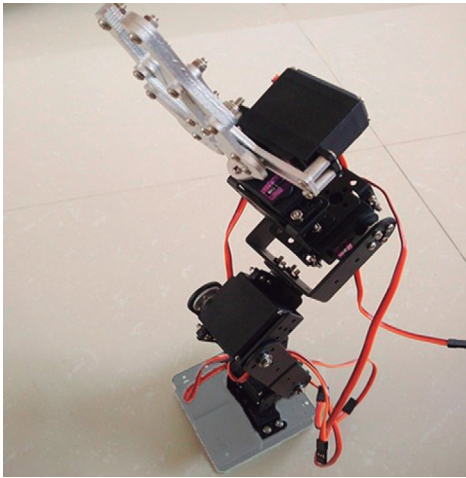


Figura 3. Ensamble de las piezas caracterizadas creando el manipulador de 5GDL.
Fuente. Autoría propia.

Programación de Servomotores

Se caracterizó el servomotor MG995 él que se muestra en la figura 4.



Figura 4. Servomotor utilizado MG995.
Fuente. Autoría propia.

Se programó en un entorno grafico del software arduino llamado visualino como se muestra en las figuras 5, 6,7; los servomotores a controlar su posición articular al momento de desplazarse y cumplir una trayectoria.



Figura 5. Programación grafica en arduino.
Fuente. Autoría propia.

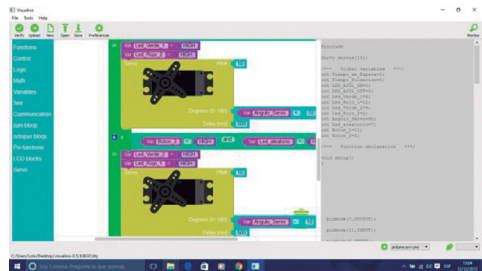


Figura 6. Programación en visualizo de los servomotores MG995.
Fuente. Autoría propia.

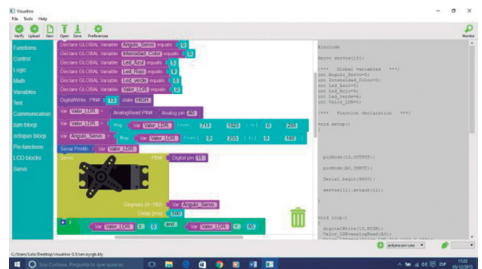


Figura 7. Programación en visualizo de los servomotores MG995.
Fuente. Autoría propia.

Se realizaron las conexiones de la tarjeta arduino con cada servomotor MG995 como se muestra en la figura 8; después de ingresada la programación en la tarjeta.

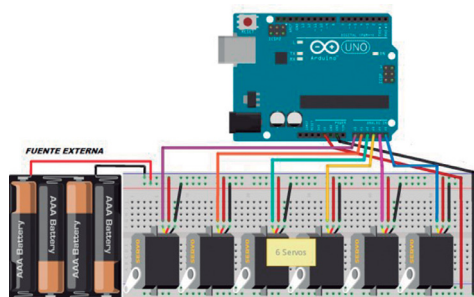


Figura 8. Configuración de conexiones de los servomotores MG995.

Fuente. Autoría propia.

Diseño en CATIA V5

Se obtuvo el boceto, el establecimiento de las medidas y la creación de partes mecánicas (eslabones, pinza, servomotores) como se muestra en las Figuras 9 y 10.

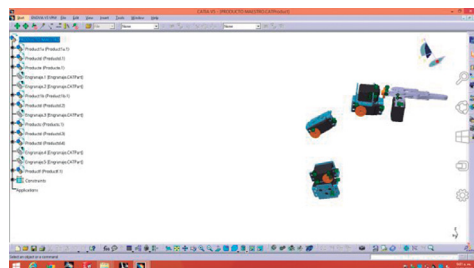


Figura 9. Creación de las partes mecánicas con sus respectivas medidas.

Fuente. Autoría propia.

Se creó y animo el ensamblado, estableciendo imágenes renderizadas del diseño, produciendo un dibujo del diseño en detalle y creando dibujos del diseño con Drafting, como se muestra en la figura 10.

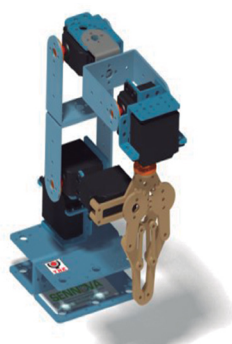


Figura 10. Ensamble y animación del manipulador de 5GDL.

Fuente. Autoría propia.

Se crearon las vistas de proyección y vistas de sección de partes 3D, Posicionado las vistas en la hoja de dibujo añadiendo dimensiones y anotaciones a las vistas como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Creación y posicionamiento de vistas de proyección y vistas de sección de partes 3D.

Fuente. Autoría propia.

Funcionamiento

Se evaluó el buen funcionamiento del manipulador en físico y el manipulador diseñado en la herramienta de simulación CATIA V5, con la programación realizada en el software arduino y su entorno grafico llamado Visualino, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Pruebas de funcionamiento del manipulador de 5GDL.

Fuente. Autoría propia.

CONCLUSIONES

El aprendizaje obtenido por los estudiantes de las 8 instituciones de la ciudad de Cúcuta de Tecnoacademia SENA fue productivo ya que se estudió, diseño e implemento un manipulador de 5 GDL y se analizó su funcionamiento, cinemática y programación en el software como lo fueron CATIA V5 y Visualino, estos programas de estudio son beneficiosos para los jóvenes de la región ya que son temas de gran importancia que ayudan al desarrollo intelectual y profesional.

El entorno grafico del software arduino es una programación más sencilla y lógica de realizar el control de movimiento de los servomotores al momento de evaluar una trayectoria.

El software CATIA V5 es un software didáctico y practico al momento de diseñar, permite conocer el análisis cinemático del

manipulador y ofrece una animación en 3D con sus respectivas vistas de proyección.

BIBLIOGRAFIA

Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñin, Carlos Balaguer, Rafael Aracil, “Fundamentos de robotica ”, Mc Graw Hill, Segunda edicion.

Jose Maria Sabater Navarro, Jaime Martinez Verdu, “Guia docente para el diseño de robots de servicio”, AIDICO instituto tecnologico de la construccion.

<https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/disciplinas/engineering/>

<http://www.amatrol.com/coursepage/virtual-measurement-tools-1/>

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

La Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación acepta trabajos inéditos. Todos los manuscritos deberán prepararse con un procesador de texto del tipo Microsoft office Word, se utilizará el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12, con un interlineado doble o 2.0.

La Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación promueve la revisión anónima a doble ciego, por tal motivo el artículo debe presentarse ante el comité editorial de la revista, sin nombres del colectivo de autores.

Toda la información relacionada con los autores, la filiación institucional, el correo electrónico y el autor para correspondencia, debe ser condensada y/o diligenciada en los respectivos metadatos de la plataforma OJS, Open Journal System de la Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Los capítulos o secciones del artículo, se detallan a continuación:

- **Formato general del trabajo**

Papel: Tamaño carta/ papel 21.59 cm x 27.94 cm (8 1/2" x 11")
Espaciado

Interlineado: 2.0 y texto alineado a la izquierda, sin justificar.

- Sin espacio entre párrafos

Márgenes: 2,54 cm/1 en toda la hoja

Sangría: Cinco espacios en la primera línea de cada párrafo

Tablas: Las tablas no tienen líneas separando las celdas

- **Título**

Título en el idioma del texto: debe ser representativo del contenido. No exceder de 15 palabras.

Título traducido: si el título indicado está en español o portugués se agregará una

traducción al idioma inglés. Si está en inglés se agregará una traducción al español o portugués.

- **Numeración de páginas**

Debe realizarse en la parte inferior centrada en Times New Roman, tamaño 10.

- **Resumen – Abstract**

Se debe condensar a manera de síntesis en un rango de 250 a 300 palabras, la información más relevante de la investigación (objetivo, metodología, resultados y conclusiones). En él se describe el tipo de información y puntos principales que se encuentra en el trabajo de investigación.

- **Palabras clave – keywords**

Identifican la temática desarrollada en el artículo sin repetir las palabras del título. Deben enunciarse entre cinco (5) y ocho (8), en español e inglés (Keywords). Se debe procurar que hagan referencia a los lineamientos de los Tesoros de la UNESCO.

- **Introducción**

Es la carta de presentación del artículo de investigación o review, en ella se provee información suficiente para que el lector entienda el fundamento racional del estudio, es decir, el contexto del cual surge la investigación. Finaliza con el planteamiento del objetivo de la investigación.

- **Materiales y métodos**

En este apartado se describe de manera sucinta cómo se hizo la investigación, el diseño del trabajo, la población o muestra y cómo se seleccionó, lugar y fechas inicial y final en que se realizó el estudio, así como los procedimientos, las variables y los métodos estadísticos utilizados para el análisis de los datos.

- **Resultados y discusión**

Aquí se enuncian los hallazgos y las observaciones más relevantes mediante la presentación de datos concretos. Se destacan aquí también, los resultados más novedosos, así como su significado contrastado y/o comparado con los hallazgos reportados de otras investigaciones.

- **Conclusiones**

Las conclusiones deben tener relación directa con el objetivo de la investigación y se exponen siempre respaldadas por los datos obtenidos. Se debe evitar incluir recomendaciones y finalmente, este apartado no aplica para los artículos de revisión o review.

- **Agradecimientos (opcional)**

Se debe mencionar a las personas e instituciones que han prestado asesoría técnica, científica o estadística a la investigación y las fuentes de financiación

• Referencias

La bibliografía debe citarse conforme se relacione con el cuerpo del documento, debe ir en orden alfabético y sin numeración alguna. Recuerde usar el estilo de la American Psychological Association (APA).

Ejemplos de referencias.

• *Libro*

Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País: Editorial.

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Electrones, neutrinos y quarks, Barranquilla, Colombia: Crítica.

• *Capítulo de un libro*

Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Psychology of Liberation: Theory and applications. En J. L. Tapiero. (Ed.), Electrones, neutrinos y quarks (pp. 1-5). Barranquilla, Colombia: Crítica.

• *Artículos científicos*

Apellido, A. A., Apellido, B. B. y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), pp-pp. doi: xx.xxxxxxx

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Psychology of Liberation: Theory and applications. Electrones, neutrinos y quarks, 2(1), 1-5. doi: <https://doi.org/10.23850/issn.2422-0582>

• *Periódico*

Apellido, A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico, pp. xx-xx

Ejemplo:

Benitez, M.A. (08 de febrero de 2018). Electrones, neutrinos y quarks. El Espectador, pp.1-2.

• *Tesis*

Autor, A., & Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.

Ejemplo:

Benitez, M. A. & Tapiero, J. (2018). Electrones, neutrinos y quarks. (Tesis de maestría). Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.

• *Material electrónico*

Apellido, A. (Año de publicación). Título de la obra. Recuperado de: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Ejemplo:

Benitez, M.A. (2018). Electrones, neutrinos y quarks. Recuperado de: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia>.

• Tablas

Las tablas son un recurso que debe permitir que el lector comprenda de manera fácil los datos que se van a contrastar. Se numerarán en forma consecutiva y con números arábigos. Se hará referencia a ellas desde el texto (Tabla 1, Tabla 2, etc.). Cada tabla deberá tener su propio título en la parte superior y en la parte inferior la fuente (si es propia poner: Elaboración propia). En cada columna se indicará también el título de columna. Todas las tablas deben estar incluidas en el archivo de texto.

Tabla 1.

El título debe ser breve, pero claro y explicativo

Categoría	Categoría	Categoría	Categoría
Variable 1	xxxx	xxxxx	xxxx
Variable 2	xxxx	xxxx	xxxx
Variable 3	xxxxx	xxxx	xxxx

Fuente: Elaboración Propia

• Figuras

Todas las ilustraciones (fotografías, diagramas, gráficos, dibujos, mapas, etc.) se designarán con el término figura y serán numeradas consecutivamente con números arábigos. Se hará referencia a ellas desde el texto (Figura 1, Figura 2, etc.). Cada figura deberá tener su propio título en la parte inferior al igual que la fuente (si es propia poner: Elaboración propia). Todas las

figuras deben estar incluidas en el archivo de texto. Las imágenes y fotos se reciben en alta definición y se deben enviar en un archivo aparte al del artículo o subir como un archivo complementario en la plataforma Open Journal System.

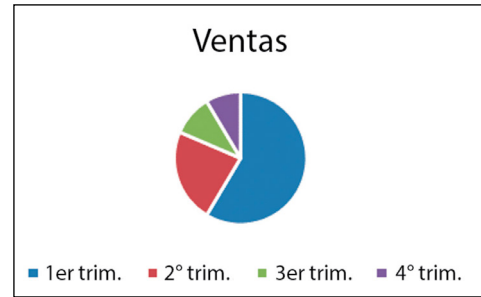


Figura 1. Título (Se debe indicar si la figura (imagen, gráfico) es propia o si se retomó de otra fuente. En caso de retomarse de otra fuente, se debe indicar autor, año y página (en la nota de figura) y posteriormente incluir la referencia completa en el apartado de referencias bibliográficas).

• Unidades de medida

Se usarán las unidades del sistema métrico internacional. Las unidades se indicarán con los símbolos aceptados por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (<http://www.bipm.org/en/bipm/>), por ejemplo: cm, m, h, g, kg (centímetro, metro, hora, gramo, kilogramo). Nótese que son símbolos y no abreviaturas, de modo que no terminan en punto.

• Envío de manuscritos

El envío de documentos es responsabi-

lidad del autor para correspondencia y se realiza exclusivamente a través de la plataforma Open Journal System. Los envíos deberán realizarse registrándose en la plataforma web y subiendo el artículo en .doc, según se indica en los pasos a seguir del sistema.

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/about/submissions#onlineSubmissions>



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

SENA comunica    SENA 

www.sena.edu.co