



**ADVANCE OF IMPLEMENTATION OF AN INNOVATION
TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION SECTOR OF COCOA IN
CONFLICT ZONE**

**AVANCE DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA TECNOLOGIA DE
INNOVACIÓN EN EL SECTOR PRODUCTIVO DEL CACAO EN
ZONA DE CONFLICTO**

Luisa Fernanda Leal Lozada*, Óscar Eduardo Gualdrón,
Marisol Maestre*****

* **Universidad de Pamplona.** Facultad de ciencias económicas y empresariales.

** **Universidad de Pamplona.** Facultad de Ingenierías y Arquitectura.

*** **Universidad de Pamplona.** Facultad de ciencias económicas y empresariales

Resumen: El objetivo del presente artículo de investigación es mostrar un avance de los resultados de la implementación de un sistema electrónico multisensorial en el proceso de secado del grano. La metodología utilizada fue el análisis de muestras húmedas y secas en la Nariz Electrónica y un Análisis de Componentes Principales (PCA), las muestras fueron obtenidas del municipio de Sardinata el cual en el pasado sufrió las consecuencias del conflicto armado. La matriz de respuesta arrojó que los granos contienen concentración de contaminantes de aire, gases combustibles, vapores orgánicos, Clorofluorocarbonados (CFC), hidrogeno y sulfato de hidrogeno, lo que permite concluir la presencia de compuestos que no son favorables para el comercio y el consumo del grano.

Palabras clave: Cacao, Nariz electrónica, Zona de Conflicto, Tecnología.

Abstract: The objective of this research article is to show an



04

advance of the results of the implementation of a multisensory electronic system in the grain drying process.

The methodology used was the analysis of wet and dry samples in the Electronic Nose and a Principal Components Analysis (PCA), the samples were obtained from the municipality of Sardinata which in the past suffered the consequences of the armed conflict. The response matrix showed that the grains contain concentrations of air pollutants, combustible gases, organic vapors, chlorofluorocarbons (CFCs), hydrogen and hydrogen sulphate, which allows concluding the presence of compounds that are not favorable for trade and consumption. of the grain.

Keywords: Cocoa, Electronic Nose, Conflict Zone, Technology.

1. INTRODUCCION

El cacao es uno de los productos que cuenta con ventajas comparativas en Colombia derivadas de las condiciones naturales para su producción, características agroecológicas en términos de clima y humedad y su carácter de sistema agroforestal conservacionista del medio ambiente esto argumentado en el Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación (PEDCTI 2014 – 2024, pp 179). Este cultivo se enmarca en un sistema agroforestal, se cultiva conjuntamente con otras especies vegetales, principalmente café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que le producen sombra al cacao, permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos (DNP, 2007, pp 25). Sin embargo el cacao colombiano a pesar de estar catalogado dentro del 5% de producción mundial de cacao fino y de aroma presenta factores internos y externos que impiden desarrollar el potencial comercial del producto.

A nivel nacional se han presentado propuestas para incentivar al cacao como una de las apuestas productivas más importantes del departamento es por esto que dentro de lo estipulado por el Plan Regional de Competitividad (PRCNS, 2008) con visión al año 2021 busca en el objetivo estratégico de actividad agrícola y forestal con valor agregado apoyar estrategias sectoriales previstas para fortalecer las cadenas productivas de algunos cultivos como el cacao y formación para el sector empresarial del cacao. Igualmente, la Agenda Interna de Competitividad desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación en el año (DNP, 2007)



05

estipuló el cacao como una apuesta productiva para Norte de Santander donde según lo acordado en las mesas de trabajo se estima contar en los próximos quince años con 22.000 hectáreas sembradas y con una producción de 17.000 toneladas, en áreas agroecológicas de las zonas húmedas y en las subcuencas de los ríos Catatumbo, Sardinata, Zulia y Pamplonita, utilizando material genético de alto rendimiento y tolerante a las enfermedades, con el objetivo de que lo producido el 50% de la producción se destinaría la exportación y el 10% a la producción de cacao orgánico para participar en el mercado nacional e internacional con productos semi elaborados y finales.

De acuerdo a lo anterior se hace importante la inclusión de forma responsable y respetuosa de la tecnología en el sector agrícola conocida actualmente como *agrónica* disciplina que integra la aplicación de un conjunto de técnicas propias de la electrónica, las comunicaciones y las tecnologías de la información (TIC) en el campo de la agricultura y ganadería (Túnez, García & Rodríguez, 1986). La cual permite impulsar el agro de forma positiva y usar las invenciones del hombre a favor de la naturaleza puesto que consiste en conocer cómo se encuentran las plantas o animales que conforman sistemas, saber si necesitan comida, agua, si están enfermos, qué necesitan para alcanzar su estado óptimo o ciertas condiciones deseadas, es posible manipular su crecimiento y desarrollo, no con base en suposiciones, sino en mediciones o simulaciones de modelos de dichos sistemas. Esta información enlazada con bases de datos, modelos de mercado, de predicción climática, entre otros, permite ser competitivos en un mercado globalizado y suplir sus demandas (Jabir et al. 2011). El presente artículo está compuesto por una breve introducción a los temas que componen esta investigación, así como la metodología que es el sistema multisensorial, los resultados arrojados a partir de las pruebas realizadas y las conclusiones derivadas de los resultados.

2. CONTENIDO

El proyecto de investigación se centra en el cultivo del cacao el cual es un cultivo existente en gran parte del territorio nacional y cuya cadena productiva está comprendida por tres tipos de bienes: bienes primarios – cacao en grano, bienes intermedios – manteca, pasta de cacao y cacao en polvo y bienes finales confites y chocolates de mesa entre otros (DNP, 2007, pp 25). Un autor especializado en la historia de este cultivo señala que:El árbol de cacao científicamente llamado *Theobroma cacao L.* nombrado así por el botánico Lineo que significa alimento de dioses, es originario de américa del sur especialmente en área del Alto Amazonas



que comprende países como Colombia, Perú, Ecuador y Brasil... y son los españoles y portugueses a los que se les atribuye como los principales promotores de expansión de la semilla que hoy también se encuentra en Asia, África y Oceanía (Enriquez, Gustavo, 1985, p 7-8).

A nivel mundial la Organización Internacional de Cacao (ICCO,2016) publicó en agosto una estimación de la producción mundial de este grano en el periodo 2015/2016 donde el total estimado sería de 3.988.000 toneladas de las cuales el 73,8% son aportadas por África, el 16% por América y el 10,2% por Asia y Oceanía. En Colombia según la publicación Federación Nacional de Cacao (Fedecacao, 2017) el grano tuvo un crecimiento significativo pasando de 54.798 toneladas en 2015 a 56.785 toneladas en el 2016 lo que representa un aumento del 3,6% e igualmente las importaciones se redujeron de 5.391 a 4.423 toneladas en los mismos periodos de tiempo lo cual obedece a la mayor producción y al interés de la industria por adquirir el producto colombiano.

La importancia que tiene el cacao a nivel nacional es la posibilidad de ser un cultivo que permite la transición de cultivos ilícitos a ser parte de una economía legal ya que durante más de 50 años Colombia vivió en torno a un conflicto armado que como resultado obtuvo muertes, desplazamiento, narcotráfico, afectaciones al ingreso de los habitantes, daños materiales y ambientales entre otros. Desde el 2016 con la firma de los acuerdos de paz entre el gobierno y el Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) se ha puesto en marcha la implementación del Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito (PNIS), con el objetivo de que las familias campesinas que se dedicaban al cultivo de coca erradiquen de mano propia estos cultivos, se comprometan a no sembrar de nuevo y el Estado garantiza la asistencia técnica y formas de apoyo financiero. Es claro que no un trabajo fácil pero se han ido adelantando tareas alrededor de la sustitución, logrando que dentro de este punto del acuerdo el cacao sea visto por muchos como el *cultivo de la paz*.

En consecuencia de lo anterior organizaciones internacionales como Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) en su página web oficial informó en 2016 el lanzamiento del programa *Cacao para la paz* el cual es una iniciativa del gobierno de los Estados Unidos para fortalecer la cadena de valor del cacao en Colombia, mediante investigación, extensión y comercialización, así mismo autoridades nacionales han mostrado su apoyo al cultivo como lo hizo el viceministro



07

de agricultura Juan Pablo Pineda quien expresó en la inauguración de la segunda edición de la Casa del Chocolate Colombia que: *"Esta es una buena hora para el sector cacaoero, se proyecta con grandes perspectivas al futuro teniendo en cuenta que este cultivo se perfila como una de las estrellas para el posconflicto y es uno de los productos priorizados en Colombia Siembra"* y el gran compromiso que han mostrado los agricultores del país y en especial del departamento por convertirse a la legalidad como ocurrió en Sardinata donde desde julio del 2016 se adelantan actividades en pro del cacao como una vía para generar ingresos y superar la pobreza.

De esta manera se espera que con las acciones del gobierno y de la población se logre gracias a este cultivo contribuir paulatinamente al desarrollo económico de la región. El desarrollo es entendido desde múltiples e interpretaciones sin embargo para la realización de esta propuesta se manejará desde la perspectiva del desarrollo endógeno definida por Garofoli (1995) como:

"... la capacidad para transformar el sistema socio-económico; la habilidad para reaccionar a los desafíos externos; la promoción de aprendizaje social; y la habilidad para introducir formas específicas de regulación social a nivel local que favorecen el desarrollo de las características anteriores. Desarrollo endógeno es, en otras palabras, la habilidad para innovar a nivel local "

Sin embargo, también es importante tener en cuenta una visión que contrasta con las demás y es la interpretación que hace Sen A. (2000) en donde plantea que:

El desarrollo puede concebirse como un proceso de expansión de las libertades reales de que disfrutaban los individuos... por lo tanto el desarrollo exigen la eliminación de las principales fuentes de privación de libertad: la pobreza y la tiranía, la escasez de oportunidades económicas y las privaciones sociales sistemáticas, el abandono en el que pueda encontrarse los servicios públicos y la intolerancia o el exceso de intervención de los estados opresivos.

Es por esto que la nariz electrónica es el instrumento que se plantea en este caso para incluir la innovación en el campo y apostarle al desarrollo puesto que es una metodología que se ha venido consolidando en las últimas décadas, con el fin de ser aplicado en casi todos los sectores (es decir, salud, procesado de productos, control de calidad, industria química, etc). Es importante resaltar que aún se siguen desarrollando estudios donde se han encontrado algunas limitantes que afectan a estos sistemas de medida y a su vez se han buscado alternativas importantes para la solución de algunos problemas frecuentes (Gualdrón, Durán, Araque & Ortiz, 2014). Estas fueron desarrolladas en un comienzo para reemplazar los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que estos se consideran costosos,

08

difíciles de transportar, y algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por el cansancio, estado anímico, clima y otros factores externos (Romero, Caballero, Galán , 2009).

El aroma de los alimentos se compone normalmente de mezclas complejas de compuestos orgánicos volátiles, en los que las diferencias marcadas en sus concentraciones pueden afectar la calidad del producto. Se han utilizado diferentes métodos y técnicas en gran parte en los laboratorios de control de calidad en instituciones de investigación para el análisis de aromas de los alimentos, los cuales se basan en el análisis físico-químico y utilizan instrumentos de alta complejidad (Duran, Hernández, Gualdron, 2014).

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este proyecto fue la implementación de la nariz electrónica en unas muestras del grano de cacao en condiciones de humedad y otros después del proceso de secado. La nariz utilizada es conocida como EP – NOSE. Esta nariz se encuentra formada por siete sensores de gas explicados a continuación:

Tabla 1: Base de reglas

| SENSORES DE LA EP-NOSE | | | |
|------------------------|------------------------|------------|----------|
| REFERENCIA SENSOR | USO ESPECIFICO | FABRICANTE | COLOR |
| TGS-821 | Hidrogeno | Figaro | Verde |
| TGS-813 | Gases combustibles | Figaro | Amarillo |
| TGS-832 | CFC | Figaro | Rosado |
| TGS-825 | Sulfato de Hidrogeno | Figaro | Marrón |
| TGS-880 | Olores de la comida | Figaro | Azul |
| TGS-822 | Vapores orgánicos | Figaro | Morado |
| TGS-800 | Contaminantes del aire | Figaro | Rojo |

Fig. 1. Aspecto físico EP-NOSE



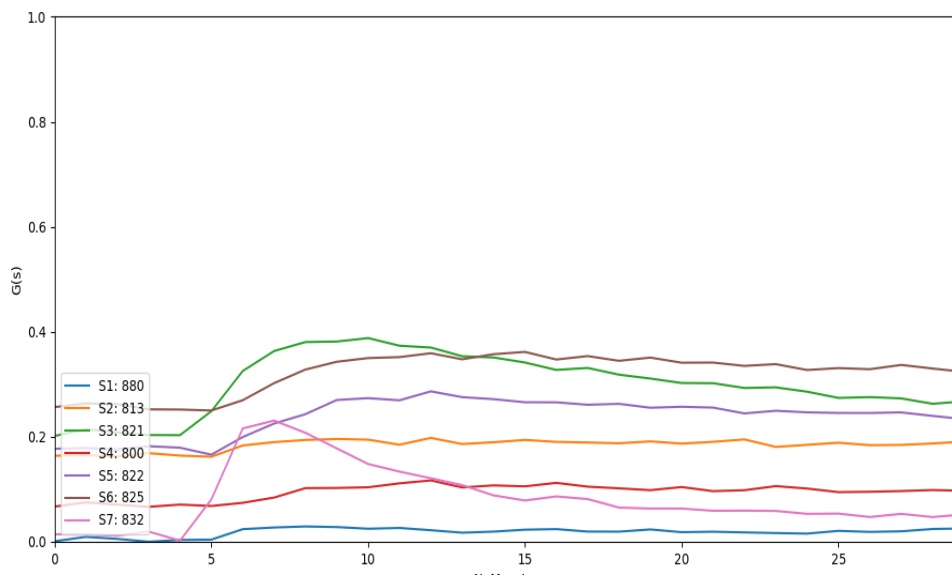
09

4. RESULTADOS

Las muestras de cacao una vez dentro de la cámara de muestras, ubicada en la parte superior derecha de la figura 1, se procede a hacer las diferentes pruebas o extracción de los datos, en función de la respuesta de los sensores ubicados en la recamara de la esquina superior izquierda de la figura 1.

Dicha cámara de sensores está compuesta por 7 sensores de gas, como se puede ver en la tabla 1, de los cuales solo respondieron 6 sensores a los volátiles emitidos por la muestra de cacao, la respuesta de cada sensor por individual corresponde a un color, por ende, la muestra está compuesta por 7 graficas de diferentes colores, a lo que se le conoce como la huella o matriz de respuesta de la nariz electrónica.

Fig. 2. Respuesta muestra de cacao seco

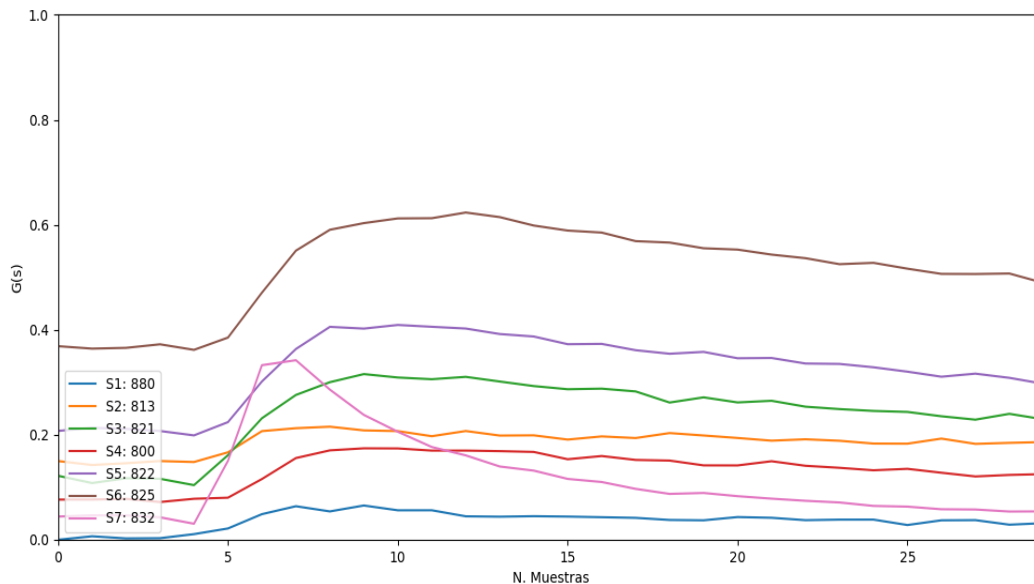


En la Figura 2 se puede apreciar la respuesta de los sensores para una prueba realizada por 5 minutos, en la cual se puede apreciar en una primera instancia que todos los sensores responden ante la presencia del volátil proveniente del cacao, luego se puede apreciar una respuesta elevada en amplitud del sensor 825, lo que está directamente relacionado con la conductancia del sensor, siendo este sensor sensible a sulfato de hidrogeno, seguido de una respuesta similar en amplitud de los sensores 822 y 800 los cuales detectan vapores orgánicos y contaminantes del aire, los sensores 880 y 821 detectando olores a comida e hidrogeno, aunque en menor proporción también están presentes en la muestra los contaminantes del aire del sensor 813, y por último la respuesta del sensor 832 detectando

10

Clorofluorocarbonos, el cual responde en mayor proporción a los sensores 880, 813 y 821, pero con un comportamiento diferente a los demás sensores, teniendo una gran pico al inicio pero retornando a línea base casi inmediatamente.

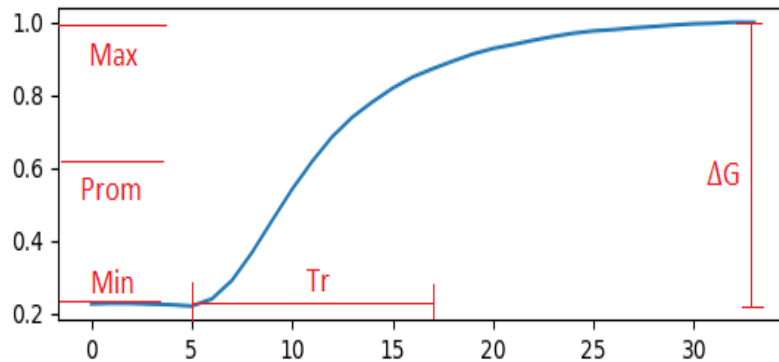
Fig. 3. Respuesta muestra de cacao húmedo



En la Figura 3 podemos ver respuestas de mayor amplitud, lo que indica mayor presencia de los gases detectados en esta muestra, y de estos sensores el que mayor aumenta su amplitud es el de sulfato de hidrogeno TGS 825, así mismo los demás sensores también aumentan, aunque en menor proporción, el sensor 832 sigue presentando el mismo comportamiento, analizando a profundidad el comportamiento de este sensor y basándonos en la literatura, el CFC es un compuesto común en los plaguicidas, dando a entender que estas muestras de cacao aparentemente en una primera etapa fueron expuestas a plaguicidas.

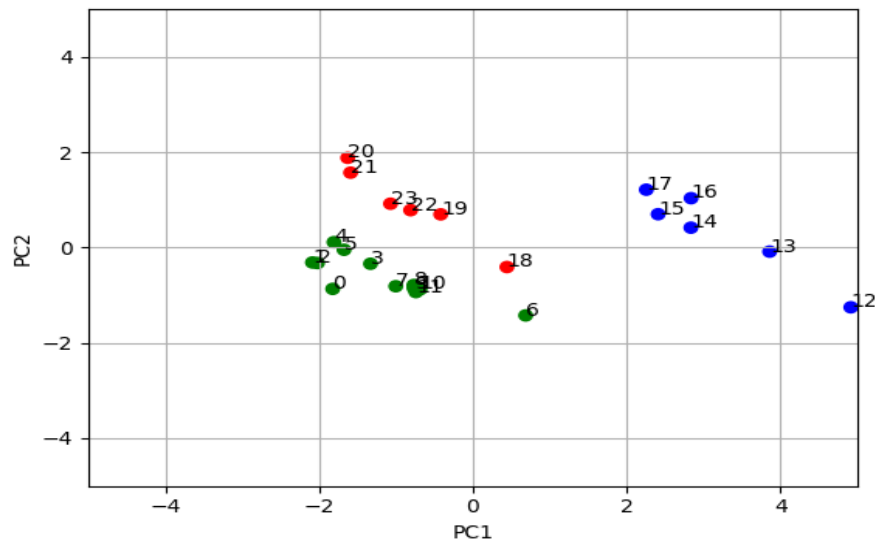
Una vez se tienen adquiridas, procesadas y almacenadas las señales, el siguiente paso es usar un algoritmo de extracción de patrones, que nos permita diferenciar una muestra de otra, para lo cual se usó una técnica llamada Análisis de componentes principales (PCA), para la cual se usaron datos que bien pueden ser cualquiera de los expuestos en la Figura 4 donde el ΔG es la conductancia del sensor, el T_r es el tiempo de respuesta del mismo, que es el tiempo en el que el sensor alcanza el 90% de su respuesta final, además variables como el máximo, mínimo y promedio de la señal, en este caso se usó el ΔG de las señales para la ejecución de la técnica.

Fig. 4. Variables de procesamiento, para un sensor en específico.



Una vez se tiene adquiridas, procesadas y almacenadas las señales, el siguiente paso es usar un algoritmo de extracción de patrones, que nos permita diferenciar una muestra de otra, para lo cual se usó una técnica llamada Análisis de componentes principales (PCA), para la cual se usaron datos que bien pueden ser cualquiera de los expuestos en la Figura 4 donde el ΔG es la conductancia del sensor, el Tr es el tiempo de respuesta del mismo, que es el tiempo en el que el sensor alcanza el 90% de su respuesta final, además variables como el máximo, mínimo y promedio de la señal, en este caso se usó el ΔG de las señales para la ejecución de la técnica.

Fig. 5. Resultados de la PCA. Python



En la Figura 5 se pueden apreciar los resultados de la PCA para cual se tomaron 24 muestras, siendo 12 de este cacao seco y las restantes cacao No seco, siendo estas separadas en dos grupos de 6 muestras de cacao húmedo y otras 6 de no tan húmedo.



12

Visualmente es fácil identificar los clusters o grupos de muestras siendo el clúster verde el correspondiente a las muestras de cacao seco, y los clúster rojo y azules al cacao no seco, así mismo los clúster rojo y azules se dividen en casi secos y húmedo respectivamente, lo cual nos da a entender que el algoritmo PCA usado pudo separar y agrupar correctamente las muestras usadas como prueba.

CONCLUSIONES

En este estudio fue posible detectar los componentes volátiles presente en el aroma de cacao, a partir de un arreglo multisensorial de sensores de gases con buenos resultados, ya que las concentraciones de los gases detectados son suficiente para generar una respuesta en los sensores fígaros, adquirirlas, procesarlas y discriminarlas o diferenciarlas al 100%.

Los resultados obtenidos de los sensores, al ser un análisis cualitativo es difícil determinar la proporción exacta de cada gas por muestra, y que la respuesta de algunos sensores puede variar en función de las condiciones bajo las cuales se realicen las pruebas, por ejemplo, el sensor de contaminantes de aire e incluso el de clorofluorocarbonos (CFC).

La presente investigación con esta tecnología, no se limita a la sola clasificación del cacao como parte de la mejora del proceso de secado del cacao, también puede usarse para clasificar cacao en muchos otros estados de interés, por ejemplo; cacao con presencia y no presencia de insecticidas, presencia de humedad en diferentes niveles, presencia o no de contaminantes, entre otros, ya que existen una amplia gama de sensores de dichos gases, lo que hace dicha tecnología potencialmente viable en términos de investigación, en pro de la mejoras en la calidad del cacao de la región.

Esta tecnología es bastante económica y puede ser el eje en procesos más avanzados y automatizados, que permitan no solo mejorar la calidad del cacao de la región, si no mejorar la calidad de vida de nuestros campesinos al proporcionarles mejores procesos y herramientas de producción, lo que se verá reflejado en sus ingresos económicos.

Referencias Bibliogràficas

- Agenda Interna de Competitividad, (PND, 2007). Recuperado de <http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR%20Sur%20del%20Cesar/Otra%20Informacion/Agenda%20interna%20Norte%20de%20Santander.pdf>



13

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Censo Nacional Agropecuario 2013- 2014. Anexo 9. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>
- Duran C, Hernández M, Gualdrón O. (2014) Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol. INGENIERÍA INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA, Vol XV, No 3, (2014)
- Enriquez, Gustavo. (1985). Curso sobre el cultivo del cacao. Recuperado de <http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/Curso sobre el cultivo de cacao ME 22.pdf>
- Federación Nacional de Cacao (Fedecacao, 2017). Recuperado de <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/>
- Gualdrón O, Duran C, Araque J, Ortiz, J. (2014). Implementación de un modelo neuronal en un dispositivo hardware (FPGA) para la clasificación de compuestos químicos en un sistema multisensorial (nariz electrónica). Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol 2 No 24, (2014).
- Jabir A, Sushil K. (2011). Information and communication technologies (ICTs) and farmers' decision-making across the agricultural supply chain. International Journal of Information Management. 31: 149-159
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (19 de septiembre 2016). "Buenos resultados del cultivo del cacao, lo ratifican como una de las estrellas para sembrar paz". Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Buenos-resultados-del-cultivo-del-cacao-lo-ratifican-como-una-de-las-estrellas-para-sembrar-paz.aspx>
- Moreno I, Caballero R, Galán R. (2009). La nariz electrónica: estado del arte. Revista iberoamericana de automática e informática industrial Vol 6, Num 3, (2009), pp 76-91.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (27 de junio 2016). "Cacao para la paz", una iniciativa conjunta. Recuperado de: <https://www.unodc.org/colombia/es/press/2016/junio/cacao-para-la-paz--una-iniciativa-conjunta.html>
- Molina M, Tebaldi M, Bolognini N.2013.Eficiencia de difracción del registro de speckle modulados generados a partir de superficies reflecto-difusoras. Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Basicas. 10 (2):50-60.
- Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación (PEDCTI 2014 – 2024). Recuperado de <http://www.datacucuta.com/PDF/publicaciones-externas/PLANDEINNOVACIONNDS/PlanEstrategico-PEDCTI-2-October%2027 .pdf>
- Plan Regional de Competitividad (PRCNS, 2008). Recuperado de <http://www.datacucuta.com/index.php/publicaciones-externas/comision-regional-de-competitividad/563-plan-regional>
- Quintana F., Lucas F., Gómez, Salomon, Garcia, Alberto y Martinez, Nubia. (2015). Perfil sensorial del clon de cacao (Theobroma cacao L.) CCN51. Revista @limentech,Ciencia y Tecnología Alimentaría. ISSN: 1692-7125. Volumen 13 N°1. Pp. 60 -65.



14

- Ramírez AL, Gil J, Medina MH, Cruz B. (2016). Implementación en entorno Labview de un sistema multifuncional de medidas magnetoópticas y magnetoeléctricas para caracterización de materiales. BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 14 (2): 116-125. doi: <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2016.2188>
- Valderrama, N.T. & Morales-Puentes., M.E. 2016. Frutos y semillas en remanentes de bosque altoandino del Páramo de Rabanal (Boyacá, Colombia). Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 14(2): 141-168.
- Vera R. José M.; Arrieta S. Alexandre; Quintana Lucas F.; García J. Alberto. (2017). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas como parámetros de calidad en la fermentación de clones de Cacao CCN51, TSC01. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 2. Pp: 76 -86.
- Túnez S, García I, Rodríguez J. (1986). Cálculo por ordenador de las necesidades de riego en un invernadero. Boletín del Instituto de estudios Almerienses, Ciencias. 6: 51-56.

*Para citar este artículo:Leal Lozada L.F.; Gualdrón G O.E.; Maestre M. Advance of implementation of an innovation technology in the production sector of cocoa in conflict zone . Revista Bistua.2019.17(1):03-14.

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Leal Lozada L.F. Facultad de ciencias económicas y empresariales. Universidad de Pamplona. eduardo_oscar@hotmail.com

Recibido: Marzo 16 de 2018

Aceptado: Agosto 02 de 2018