

OTROS TÍTULOS DE EDITORIAL CORHUILA

Pensar la región
Ensayos de historia económica,
social y cultural del Huila
Bernardo Tovar Zambrano

Caracterización de las apuestas
productivas y perfiles ocupacionales
en el sector piscícola del Huila
Varios autores

Congreso internacional de turismo
sostenible
Varios autores

Geografía económica colombiana
Felix Erney Monje Penha
Hugo Ibsen Zambrano Solarte

Perspectivas Turísticas del Huila
Varios autores

Manual de prácticas de campo y
laboratorio
Santiago Gutiérrez Quintero

Reflexiones académicas desde la
proyección social en Corhuila
Varios autores

“De hecho, la ciencia avanza tan rápido que las limitaciones son ahora menos técnicas que jurídicas, regulatorias y éticas. La lista de posibles aplicaciones es prácticamente ilimitada, y va desde la capacidad de modificar animales de tal forma que puedan ser criados mediante una dieta más económica o adecuada a las condiciones locales, hasta la creación de cultivos capaces de soportar temperaturas extremas o sequías. A medida que la investigación en ingeniería genética avanza (por ejemplo, el desarrollo del método CRISPR/Cas9 para la edición genética y la terapia), las limitaciones para lograr una entrega y una especificidad eficaces serán superadas, lo que nos dejará una pregunta más inmediata y más desafiante, especialmente desde un punto de vista ético: ¿cómo revolucionará la edición genética la investigación y el tratamiento médicos? En principio, las plantas y los animales podrían ser potencialmente diseñados para producir productos farmacéuticos y otras formas de tratamiento. El día en que las vacas puedan ser diseñadas para producir en la leche un elemento de coagulación de la sangre, del cual los hemofílicos carecen, no está lejos. Los investigadores ya han comenzado a diseñar los genomas de los cerdos con el propósito de confeccionar órganos adecuados para el trasplante humano (un proceso llamado «xenotrasplante», el cual no se podía prever sino hasta ahora debido al riesgo de rechazo inmunológico del cuerpo humano y la transmisión de enfermedades de los animales a los seres humanos).”

La Cuarta revolución Industrial
Klaus Schwab

SABERES EMERGENTES PARA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



SABERES EMERGENTES PARA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



Fernand Díaz Franco

Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca, Magíster en sistemas Mecatrónicos de la Universidad de Brasilia y Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Estatal de la Florida. Ha sido docente e investigador vinculado a la facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria del Huila.

Omar Fernando Cuadro Mogollón

Microbiólogo y Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona. Ha sido auditor interno para el cumplimiento de normas técnicas internacionales en el sector industrial y tecnológico. Fue docente de tiempo completo y decano de la facultad de ingeniería de la Corporación Universitaria del Huila. En la actualidad es el director de Docencia y currículo de la misma institución.

Luis Alexander Carvajal Pinilla

Biólogo y Magíster en Biología de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente es docente del Programa Ingeniería Ambiental de Corhuila en las áreas de Ecosistemas Colombianos, Sistemas Ambientales y Metodología de la Investigación. Ha sido docente de Biología en la Universidad Surcolombiana y consultor de la Coordinación de la Unidad de Entomología de la Secretaría de Salud Departamental del Huila.

Su labor investigativa se ha enfocado en los campos de la Ecología, Zoología, Ornitología, Entomología, Conservación de la biodiversidad y Educación Ambiental. Sus artículos y libros en coautoría se han ocupado de diversas temáticas como el uso de microorganismos como bioindicadores de calidad de aire y agua, las relaciones funcionales en cultivos, la entomología médica y la resistencia a insecticidas por insectos vectores. Es investigador Asociado de Colciencias.

ISBN 978-958-52203-0-0





SABERES EMERGENTES PARA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



**SABERES EMERGENTES PARA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL
CIACEL.**

Bogotá, Editorial Corporación Universitaria del Huila (CORHUILA), 2019

156 páginas, 17x24 cms.

ISBN: 978-958-52203-0-0

1. robótica 2. matlab 3. estructura 4. piscicultura 5. tilapia 6. oxígeno disuelto
7. control 8. Cultivos perennes 9. geomática 10. conservación 11. agroindustrial
12. oferta hídrica 13. demanda hídrica 14. índice de escasez de agua 15. sistema
embebido 16. IoT 17. Estructura 18. Indicaciones 19. formatación

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

SABERES EMERGENTES PARA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

© Editorial Corporación Universitaria del Huila (Corhuila), 2019

Compiladores

Omar Fernando Cuadro Mogollón

Luis Alexander Carvajal Pinilla

Fernand Díaz Franco

ISBN: 978-958-52203-0-0

Primera edición: Neiva, Colombia, mayo de 2019

Coordinador editorial: Marcos Fabián Herrera

Diagramación y diseño carátula: Luz Mery Avendaño

Impresión: Editorial Gente Nueva

Editorial Corporación Universitaria del Huila (CORHUILA)

Calle 21 N° 6 - 01 Barrio Quirinal

Neiva - Huila - Colombia

Teléfono (8) 8754220

Rector

Fabio Losada Pérez

Vicerrector Académico

José David Rivera Escobar

Impreso y hecho en Colombia / Printed and made in Colombia

Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

Presentación

En su inspirador y memorable libro **Esto lo Cambio Todo**, la activista y escritora canadiense Naomi Klein, postuló que el cambio climático no sería uno de los temas rectores de la agenda mundial; en palabras de la autora, la abrupta y vertiginosa ruta al calentamiento planetario simplemente será el tema fundamental de los próximos años. No hay otro.

Líderes mundiales de todas las tendencias; institutos de investigación de diversas disciplinas; organismos multilaterales y empresarios sensibles de todo el orbe, coinciden con la categórica formulación de Naomi Klein.

Nuestra casa, el planeta tierra, el hábitat de 7,442 miles de millones de seres humanos, hoy enfrenta el mayor riesgo de convivencia por algo que todas las ciencias consideran irreversible. El progresivo aumento de temperatura, con sus angustiosas manifestaciones en desastres naturales, amenaza la existencia de todas las especies vivas. Esta situación se presenta en momentos en los que el saber vive la más fecundas de la revoluciones. La paradoja de existir en un mundo con un ritmo desenfrenado de depredación, al tiempo que asistimos expectantes al triunfo irrefutable de la razón con sus logros tecnológicos en la era de la virtualidad, nos desafía.

Es ese el desafío que ha enfrentado con vigor la Corporación Universitaria del Huila. Sobreponiéndonos a discusiones bizantinas y desgastantes, hemos convocado a la comunidad científica y académica de Colombia, Latinoamérica y el Caribe, para enfrentar con creatividad y talento los temas acuciantes de la agenda mundial. Desde este escenario estamos demostrando que las transformaciones geopolíticas del mundo actual desdibujan los inveterados centros de poder, para reconfigurar las correlaciones y estimular el florecimiento desde los márgenes.

La provincia con sus lastres de atraso y segregación, hoy sale del letargo para decirle al mundo que la inteligencia y la capacidad es nuestro pasaporte, y que no será el torrente de dinero lo que nos dará notoriedad, sino

la audacia y los aportes que haremos para insertarnos al diálogo científico en donde no hay exclusiones ni jerarquías de poder.

CIACEL, hoy se erige como el evento académico en el que se reúnen los investigadores, divulgadores, empresarios y docentes que con decisión asumen la labor de responder a las exigencias de un entorno cambiante. La superación de los agobios y las adversidades, no se lograrán si evadimos nuestra responsabilidad fraternal con la sociedad. Serán los ciudadanos libres y autónomos, la academia responsable y la ciencia propositiva, los componentes convergentes que nos permitan vislumbrar el haz de luz que ilumine el camino.

Equipo Editorial CIACEL

Contenido

Presentación	5
---------------------------	----------

Diseño e implementación de un Robot Cartesiano para el uso en una huerta casera

I. Introducción	15
II. Estructura del robot	15
A. Estructura mecánica	16
B. Actuadores.....	17
C. Sensores	17
D. Sistema de control	17
III. Modelos Cinemáticos	18
A. Modelo Cinemático Directo - MCD	18
B. Modelo Cinemático Inverso - MCI.....	18
IV. Modelado Matemático	18
A. Modelo Cinemático Directo – MCD	18
B. Modelo Cinemático Inverso – MCI	20
V. Resultados obtenidos	20
A. Interfaz gráfica	20
B. Herramientas del robot.....	21
C. Algoritmos	21
D. Diagrama de decisión para el riego	22
E. Simulación	23
VI. Conclusiones	23
Referencias.....	24

Diseño e implementación del control de oxígeno disuelto en cultivos de Tilapia para sistemas tipo estanque

I. Introducción	29
-----------------------	----

II. Monitoreo del Oxígeno Disuelto	30
III. Diseño del Sistema y Control	34
A. Sistema de cultivo	35
B. Sistema de control	35
IV. Resultados	36
V. Conclusiones	37
Reconocimiento	37
Referencias	38

**Zonificación para la producción agroforestal del café
(*Coffea arabica* L.) en el municipio de Policarpa, departamento
de Nariño – Colombia 39**

I. Introducción	42
II. Materiales y Métodos	43
A. Zona de estudio.....	44
III. Condiciones agroecológicas para la producción de café.....	46
IV. Potencial agroproductivo y zonificación del café.....	52
V. Conclusiones	57
Referencias.....	57

**Estado del índice de escasez de agua superficial
en el departamento del Huila..... 59**

I. Introducción	62
II. Materiales y Métodos	63
Modelo del índice.	64
Valoración del índice.....	66
III. Resultados y Discusión	66
IV. Conclusión.....	70
Referencias.....	71

**Diseño e implementación de un sistema de monitoreo
de emisión de gases en el cultivo del arroz..... 73**

I. Introducción	76
II. Materiales y Metodos	76

Rasberry PI 3.....	77
Sensor MQ4	77
MyOpenLab	77
Ajuste de la sensibilidad.....	78
III. Diseño del sistema	79
Software.....	81
IV. Resultados	84
V. Conclusiones	86
Referencias.....	87

Estrategia para la generación tecnológica integrada orientada a la estructuración productiva para uso sustentado de las pasifloras89

I. Introducción	92
II. Las pasifloras brasileñas.....	93
III. Cadena de producción de las passifloras en Brasil.....	93
IV. Políticas públicas brasileñas para la agricultura familiar.....	95
V. Portafolio Passiflora	99
VI. La Red Passitec y metodología para el desarrollo tecnológico integrado con la cadena de producción	100
A. Identificación y llenado de las islas del conocimiento necesarias para la estructuración productiva.....	101
B. Desarrollo tecnológico en conjunto con el sector productivo ...	102
C. Estructuración de los eslabones productivos y del mercado.....	102
D. Cronología	103
VII. Aplicación de la metodología y estructuración productiva - el caso del maracuyá pérola.....	104
Referencias.....	107

AGROSCADA, IOT para el sector agropecuario y agroindustrial de Colombia aplicado en un proceso de secado e inmunización de Guadua 113

Sistema de Supervisión y Control Agropecuario	113
I. Introducción	115

II. AGROSCADA.....	115
III. Implementación en proceso secado e inmunizado de guadua	119
A. Ecuaciones y cálculos para el sistema de control.....	121
B. Proceso de secado de guadua	123
IV. Conclusiones	126
Referencias.....	126

Extracción de cafeína en café especial

(*coffea arabica* l. var. colombia) por medio de microondas 127

I. Introducción	130
II. Materiales y Métodos	131
A. Obtención y adecuación del material vegetal	131
B. Extracción asistida por microondas	131
C. Capacidad antioxidante	132
D. Diseño experimental	132
III. Resultados y Discusión	133
A. Efecto del tiempo, potencia y solvente (Agua destilada) sobre la extracción de cafeína.....	133
B. Efecto del tiempo, potencia y solvente (Etanol al 70%) sobre la extracción de cafeína.....	134
C. Capacidad antioxidante	136
IV. Conclusiones.....	138
Referencias.....	139

Desarrollo de una App para la gestión y visualización de variables

agrometeorológicas en el departamento del Huila 141

I. Introducción	144
II. Arquitectura del software.....	145
A. Gestión de los Registros	146
B. Visualización de los Registros	146
III. Metodología para el análisis de datos	146
IV. Resultados	147
Temperatura.....	148
Temperatura del Suelo.....	148
Dirección del Viento	149

Velocidad del Viento	150
Humedad del Suelo	150
V. Conclusiones	151
Agradecimientos	152
Referencias.....	152



Diseño e implementación de un Robot Cartesiano para el uso en una huerta casera

- **Jorge Luis Aroca Trujillo**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- jorge.aroca@corhuila.edu.co
-
- **Ruthber Rodríguez Serrezuela**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- ruthber.serrezuela@corhuila.edu.co
-
- **Yessica Johana Núñez Artunduaga**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- yynuneza@corhuila.edu.co
-
- **Andrés Felipe Bonilla Salazar**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- afbonilla@corhuila.edu.co
-

Resumen — Con el paso del tiempo se ha desarrollado una gran variedad de herramientas que facilitan y mejoran los procesos de producción agrícolas en diferentes escalas. Tal es el caso del robot agrícola que se propone en este documento, pues pretende dotar con una herramienta que pueda vigilar el cultivo, sembrar y regar las plantas de forma eficiente y autónoma. En este proyecto, se encontrará el modelo 3D de la estructura robótica para una huerta, además se encontrará el desarrollo matemático del modelado cinemático directo e inverso, las simulaciones en Matlab, el control de cada una de las articulaciones del robot por medio de algoritmos generadores de trayectorias. Todo esto programado en un sistema embebido que estará alimentado por una batería de 12 voltios que se recarga a través de un panel solar.

Abstract — As time goes by it has been developed a variety of tools that facilitate and improve agricultural production processes at different scales. As the case of the agricultural robot that is proposed in this document, because it aims to provide a tool that can monitor the cultivation, planting and watering the plants in an efficient and autonomous way. In this project, you will see the 3D model of the robotic structure for a vegetable garden, also will be the mathematical development of the modeling direct and inverse kinematics, simulations in Matlab, each of the joints of the robot control by means of generating algorithms of trajectories. All this programmed in an embedded system, which will be powered by a 12 volt battery that is recharged through a solar panel.

Palabras Claves — Robot, Matlab, Estructura, MCD, MCI.

I. Introducción

Hace más de medio siglo que el primer robot fue instalado para realizar trabajos en industria, y desde entonces, se han constituido como parte esencial de las industrias modernas. En la actualidad se tiene a disposición infinidad de máquinas capaces de llevar a cabo diferentes tipos de tareas, y por su versatilidad y eficiencia, han hecho que muchas actividades hechas por el hombre ahora son hechas por estos sistemas robotizados.

Al analizar las posibles aplicaciones que pueden generarse a partir de las necesidades en el sector agrícola, se encuentra que uno de los más importantes es la administración eficiente de los recursos como el suelo cultivable, la cantidad de agua que realmente se requiere el cultivo, la energía que se consume durante la siembra y riego y la aplicación de la cantidad adecuada de insumos. Sin embargo, estos desafíos ofrecen oportunidades de desarrollar nuevas técnicas y tecnologías aplicadas al sector.

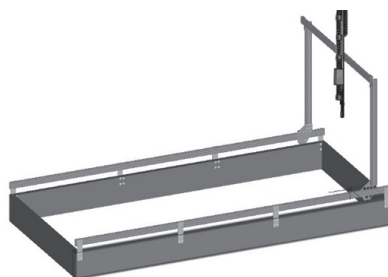
Por consiguiente, buscando innovación en esta área se está implementando como trabajo de investigación, el desarrollo de un brazo robótico escalable capaz de administrar la siembra y riego de un cultivo para una huerta.

Tener un sistema que pueda administrar dichos recursos, puede llegar a reducir los costos de mano de obra, mejorar la eficiencia, y controlar el consumo de insumos. Esto se hace con base al requerimiento de agua y/o insumos que pueda requerir los diferentes tipos de cultivos, y a las variables externas como es la temperatura ambiente y la humedad.

II. Estructura del robot

El robot propuesto está básicamente conformado por elementos mecánicos y por sistemas eléctricos y/o electrónicos. Donde los sistemas electró-

nicos tienen como función principal, controlar los movimientos que deben realizar los mecanismos para ejecutar una tarea específica. Los elementos básicos que compone el robot es estructura mecánica, actuadores, sensores y el sistema de control.



Modelo 3D del brazo robótico.

A. Estructura mecánica

El robot está compuesto por eslabones o links que están interconectados entre sí por articulaciones. Los diferentes tipos de articulaciones permiten realizar una clasificación de los manipuladores según su configuración: cartesianos, cilíndricos, esféricos, SCARA y antropomórficos (Figura 1). Para el robot diseñado, se usó tres (3) articulaciones de desplazamientos, comúnmente conocidas como articulaciones prismáticas.

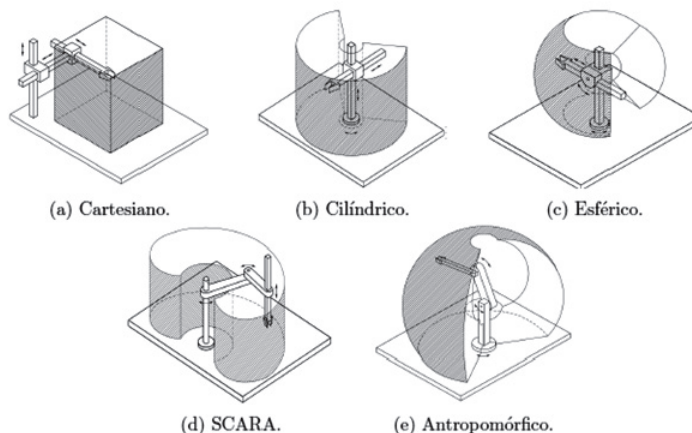


Figura 1. Tipos más comunes de configuración de manipuladores[1], [2]under an interface designed in Matlab. For the analysis of the Direct Kinematic Model (DKM).

Puede describir fácilmente movimientos de rectas y además brinda una estructura más rígida para desarrollar trabajos de manipulación de objetos grandes y pesados.

B. Actuadores

Posee tres (3) servomotores Nema17 (Figura 2), uno por cada articulación, capaces de transformar la energía en fuerza o pares necesarios para generar el movimiento en la estructura.

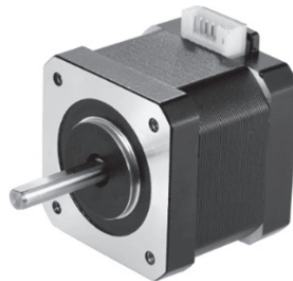


Figura 2. Motor Paso a Paso, referencia Nema17[3].

C. Sensores

Al igual que los seres vivos, los robots poseen sensores que suministran información del entorno para ejecutar una acción. Para ello, se dispone de tres (3) sensores de fin de carrera para suministrar adecuadamente la posición de *Home* ó de inicio del robot, un sensor de humedad para conocer si el cultivo requiere agua, un sensor LM35 para monitorear la temperatura ambiente y de un sensor de nivel para conocer el estado de reserva de agua. Técnicamente, los sensores se encargan de capturar las variables posición, humedad, temperatura y nivel, para luego convertirlas en señales eléctricas de corriente o voltaje, para que el sistema de control puede ejecutar las correspondientes acciones.

D. Sistema de control

Tiene como función de regular y controlar los movimientos de la estructura del robot, para ejecutar de forma adecuada una tarea, sin la necesidad de la intervención de una persona. En otras palabras, debe procesar, por

sí solo, toda información suministrada por los sensores para ejecutar las distintas ordenes por medio de los actuadores. Todas las órdenes son procesadas desde Matlab, donde se encuentran almacenadas las condiciones de generación de todos los posibles movimientos que puede realizar el manipulador de acuerdo a la tarea para el cual ha sido programado.

III. Modelos Cinemáticos

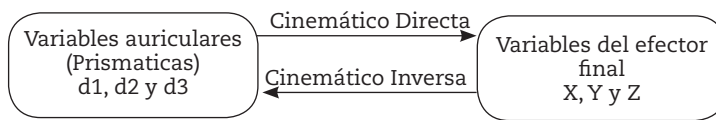


Figura 3. Relación entre la Cinemática Directa e Inversa.

A. Modelo Cinemático Directo - MCD

El modelo cinemático directo busca representar la posición y orientación de efector final del robot, en relación a los valores de las variables de cada articulación y de los parámetros de construcción de los elementos que lo componen. Para resolver el MCD se encuentran los métodos geométricos, transformación homogénea, cuaterniones y ángulos de Euler. Por ser un brazo robótico tipo cartesiano, su cinemática depende netamente de los valores que puede tomar las variables articulares prismáticas (). En consecuencia, se tiene que los modelos cinemáticos son representados como se muestra en la figura 3.

B. Modelo Cinemático Inverso - MCI

Este modelo proporciona los valores que debe tomar cada articulación a partir de la posición y orientación del efector final del robot manipulador. Existen tres métodos para encontrar la cinemática inversa: geométrico, desacople cinemático y solución algebraica[4].

IV. Modelado Matemático

A. Modelo Cinemático Directo – MCD

Para el modelado, se usa el método de transformaciones homogéneas de Denavit - Hartenberg (DH) estándar. El primer paso es definir las variables

a_i, α_i, d_i y θ_i , donde tres variables son valores constantes y la restante define el tipo de articulación. Como el robot es tipo cartesiano, este posee tres (3) articulaciones prismáticas (PPP), se tiene que los valores DH son los que se muestran en la tabla I[5], [6] an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS):

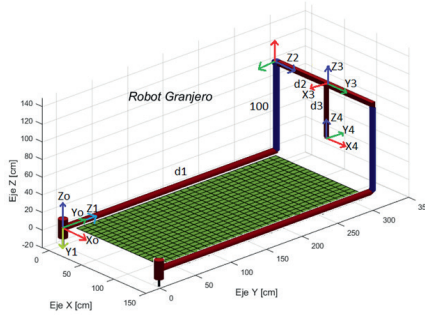


Figura 4. Asignación DH del robot[7].

Con base a las asignaciones de los ejes coordenados se tiene que[8]:

Tabla I. Parámetros Denavit - Hartenberg

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	0	0	$-\pi/2$
2	$-\pi/2$	d_1	100	$-\pi/2$
3	$\pi/2$	d_2	0	$\pi/2$
4	$\pi/2$	$-d_3$	0	0

Seguidamente se define las matrices de transformación de cada uno de los eslabones:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (1) \quad {}^1T_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -100 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (2)$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (3) \quad {}^3T_4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (4)$$

Donde, la transformación homogénea 0T_1 representa un movimiento rotacional sobre el eje X para alinear el eje Z del marco de referencia y la articulación y/o eslabón d_1 .

Por último, se realiza la multiplicación sucesiva de las matrices 1,2,3 y 4 (${}^0T_4 = {}^0T_1 * {}^1T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4$). Representando el MCD a través de la matriz 5[2], [9]:

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 1 & 100 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

B. Modelo Cinemático Inverso – MCI

Para representar el MCI se realiza análisis con base a la matriz 5, donde se tiene que:

- Movimiento generado en el eje **x** depende de d_2 , por ende, $P_x = d_2$
- Movimiento generado en el eje **y** depende de d_1 , por ende, $P_y = d_1$
- Movimiento generado en el eje **z** depende de d_3 , por ende, $P_z = 100 - d_3$
- Por último, se tiene que no posee movimiento rotacional, por ende, no es necesario realizar el análisis rotacional del MCI.

V. Resultados obtenidos

A. Interfaz gráfica

El sistema contará con una interfaz gráfica sencilla, el cual permitirá monitorear las variables de humedad, temperatura ambiente, temperatura a la cual está el terreno y la posición de la herramienta en X, Y y Z. En la figura 5 se muestra la interfaz desarrollada en Guide de Matlab[9], [10].

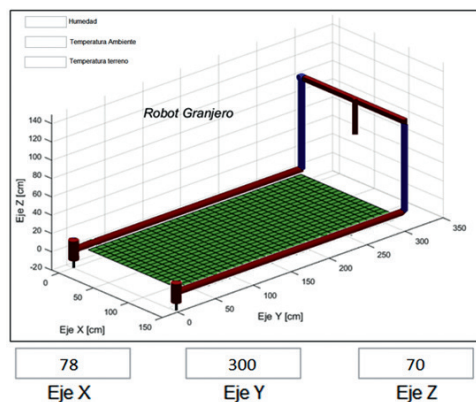


Figura 5. Diagrama de flujo de algoritmo generador de trayectoria.

B. Herramientas del robot

El sistema cuenta con tres diferentes herramientas, la cuales constan de un sensor de temperatura (termocupla), una sonda Higrómetro (Sensor de Humedad de suelo), un ducto que permite suministrar el agua y una pinza para enterrar la semilla. Adicionalmente se cuenta con un sensor de temperatura ambiente (LM35) y un sensor de nivel de agua para la medición de este fluido en el tanque.

C. Algoritmos

Cuando se requiere posicionar una herramienta en un punto determinado, es necesario contar con algoritmos que ayuden a cumplir este objetivo. Con base a lo anteriormente mencionado, se genera los algoritmos en Matlab de acuerdo al diagrama de flujo que se muestra en la figura 6. Este permite llegar a una posición determinada para realizar el trabajo de siembra, riego, toma de lectura de humedad del terreno y la temperatura a la cual se encuentra la planta.

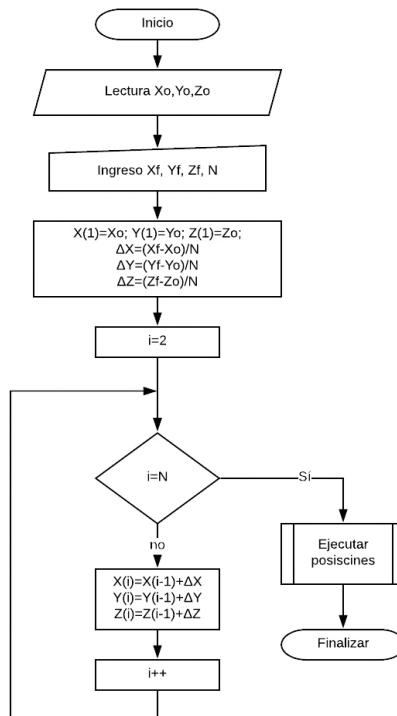


Figura 6. Diagrama de flujo del algoritmo generador de trayectoria.

Básicamente, se espera que un punto (P_o) con coordenadas X_o , Y_o y Z_o se traslade a través del plano cartesiano mediante el vector de movimiento de traslación denotado como Δx , Δy y Δz . Es decir, se tiene una nueva posición (P_d) que varía respecto a la posición inicial de la siguiente forma:

$$P_d = [(P_{ox} + \Delta x), (P_{oy} + \Delta y), (P_{oz} + \Delta z)]$$

D. Diagrama de decisión para el riego

Para realizar el riego se requiere ejecutar el algoritmo de decisiones acorde al diagrama de flujo de la figura 7. En primera medida realizará la confirmación de la hora programada para realizar el riego. Una vez se haya confirmado esto, se procede a realizar la inspección planta por planta de la humedad. Si esto no es la adecuada, inmediatamente se procederá a suministrar la cantidad de agua adecuada, acorde al cultivo que se tenga. Al finalizar se procede a ir a la posición de *Home*.

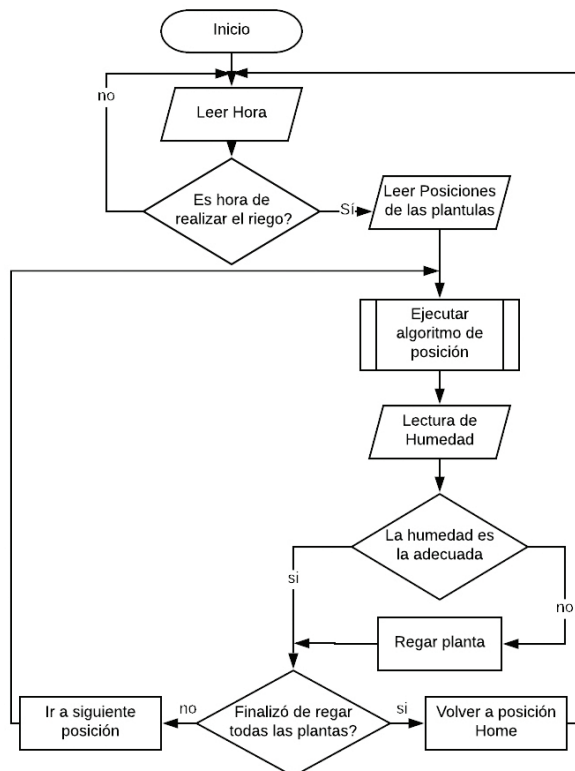


Figura 7. Diagrama de flujo para el sistema de riego.

Para generar la simulación en 3D, se usa el toolbox *Robotics Toolbox* [7] de Matlab de la siguiente forma:

```
L(1) = Link([0,0,0,-pi/2,0], 'standard');  
L(2) = Link([-pi/2,d1,100,-pi/2,1], 'standard');  
L(2).qlim = [0,0.500];  
L(3) = Link([pi/2,d3,0,-pi/2,1], 'standard');  
L(3).qlim = [0,0.500];  
L(4) = Link([0,d4,0,0, 1], 'standard');L(4).qlim = [0,0.300];  
Farmbot= SerialLink(L,'name','Robot Granjero')  
Farmbot.plot([0 d1 d2 d3])
```

Donde, d_1 , d_2 y d_3 son las variables articulares del robot.

E. Simulación

Una vez finalizado el diseño de robot junto con la interfaz, se realiza algunas pruebas del comportamiento de algunos puntos alcanzados durante la trayectoria. Estos puntos que describe el movimiento son representados en la figura 9.

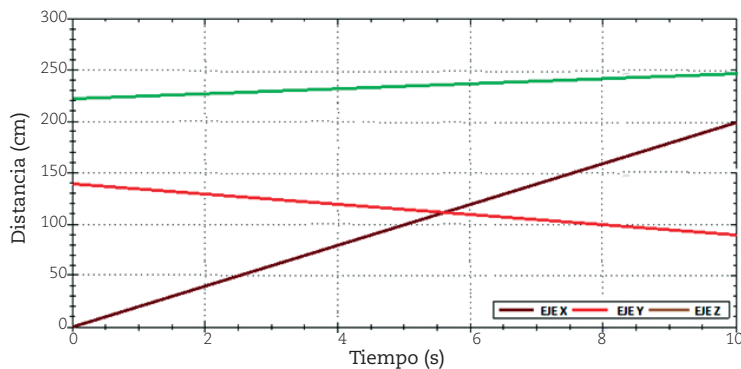


Figura 9. Trayectoria generada para la simulación.

VI. Conclusiones

Se encuentra mediante los parámetros de Denavit-Hartenberg las matrices de transformaciones de cada uno de los eslabones, que al multiplicarlos se determina el Modelo Cinemático Directo ó MCD del sistema. Adicionalmente, con base a este modelo, se puede visualizar el MCI.

El algoritmo generador de trayectoria que se realizó, con base a los modelos cinemáticos (MCD y MCI), permite llegar con las diferentes herramientas a las posiciones cartesianas requeridas para ejecutar las acciones de monitoreo y riego de las plantas que ahí se siembren.

Se suministran modelos simulados y modelos 3D en Autocad del diseño de un robot cartesiano con tres (3) articulaciones prismáticas. Este realiza movimientos sobre los ejes coordenados X, Y y Z, y que describen movimientos en línea recta.

Al visualizar la simulación (Figura 9), se evidencia que las trayectorias dependen de los movimientos lineales realizados por las articulaciones prismáticas.

Con la aplicación de la tecnología en cultivos, se puede llegar a gestionar parcelas agrícolas sobre la base de la buena administración de los recursos naturales. Teniendo en cuenta, la observación, la medida y la actuación frente a las necesidades precisas de cada tipo de cultivo.

El desarrollo de estos sistemas robotizados, pueden ser aplicables a cualquier tipo de cultivo y a cualquier área requerida, debido a que se propone un sistema escalable.

Referencias

- [1] J. Luis, A. Trujillo, R. Rodríguez Serrezuela, V. Azhmyakov, and R. S. Zamora, "Kinematic Model of the Scorbot 4PC Manipulator Implemented in Matlab's Guide," *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 183–199, 2018.
- [2] J. L. A. Trujillo, A. Pérez-Ruiz, and R. R. Serrezuela, "Generation and Control of Basic Geometric Trajectories for a Robot Manipulator Using CompactRIO®," *J. Robot.*, vol. 2017, pp. 1–11, Dec. 2017.
- [3] P. Jaén, D. Hierro, and J. M. Mossi García, "FOCUS ASSISTANT: SISTEMA REMOTO DE CONTROL DE FOCO UNIDAD ACTUADORA."
- [4] R. R. Serrezuela, A. Fernando, C. Chavarro, M. A. T. Cardozo, A. L. Toquica, and L. F. Ortiz Martínez, "Kinematic Modelling of a Robotic Arm Manipulator Using Matlab," vol. 12, no. 7, 2017.
- [5] H. Chaudhary and R. Prasad, "Intelligent Inverse Kinematic Control of Scorbot-Er V Plus Robot Manipulator," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 5, pp. 2231–1963, 2011.
- [6] A. N. Barakat, K. A. Gouda, and K. A. Bozed, "Kinematics Analysis and Simulation of a Robotic Arm using MATLAB," in *Control Engineering & Information Technology (CEIT), 2016 4th International Conference on*, 2016, pp. 16–18.

- [7] P. Corke and S. (Online service), *Robotics, Vision and Control [electronic resource] : Fundamental Algorithms in MATLAB* / by Peter Corke., vol. 73. Springer, 2011.
- [8] C. K. Sung and C. H. Lu, "Modeling/analysis of four-half axis machine tool via modified denavit-hartenberg notation," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 12, pp. 5135–5142, 2014.
- [9] R. R. Serrezuela, A. F. C. Chavarro, M. A. T. Cardoso, A. L. Toquica, and L. F. O. Martinez, "Kinematic modelling of a robotic arm manipulator using MATLAB," *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 7, pp. 2037–2045, 2017.
- [10] H. Chaudhary and R. Prasad, "Intelligent Inverse Kinematic Control of Scorbot-Er V Plus Robot Manipulator," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 5, pp. 2231–1963, 2011.



Diseño e implementación del control de oxígeno disuelto en cultivos de Tilapia para sistemas tipo estanque

- **Juan Camilo Cruz Sotelo,**
- **Didier Restrepo Bravo,**
- **Fernand Díaz Franco**
- Ingeniería Mecatrónica
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- fernand.diaz@corhuila.edu.co
-
- **Álvaro Antonio Patiño Forero**
- Ingeniería en Automatización
- Universidad de La Salle
- Bogotá, Colombia

Resumen — La piscicultura en el Huila ha triplicado su producción en la última década, siendo la tilapia el producto que ocupa aproximadamente el 95% de la industria piscícola de la región. Sin embargo, algunos desafíos de carácter técnico y de procedimiento limitan una mayor expansión especialmente al mercado internacional. Uno de estos retos se encuentra presente en el control del nivel de oxígeno disuelto (OD) en cultivos tipo estanque que afecta directamente la sanidad del animal. Este primer avance del proyecto describe la metodología empleada en el monitoreo, evaluación y control del OD en cultivos tipo estanque en la Piscícola San José localizada en el municipio de Aipe, Huila. Los resultados presentados en este documento muestran la viabilidad de la técnica empleada para el registro y control de la variable de interés.

Abstract — Fish farming in Huila has tripled its production in the last decade, with tilapia being the product that occupies approximately 95% of the region's fish industry. However, some technical and commercial challenges limit its further expansion, especially to the international market. One of these challenges is present in the control of the level of dissolved oxygen (DO) in pond-type crops that directly affects the health of the animal. This document describes the methodology used in the monitoring, evaluation and control of DO in pond-type crops in the Piscícola San José farm, located in Aipe, Huila. The results presented in this document show the feasibility of the technique used for the acquisition and control of the variable of interest.

Palabras Claves —Piscicultura, tilapia, oxígeno disuelto, control.

I. Introducción

Actualmente, la acuicultura tiene un buen ritmo de crecimiento con rentabilidad mayor comparada con otras actividades agropecuarias. En el Huila, el cultivo de tilapia roja es una de las apuestas productivas del departamento para los próximos años que busca consolidar los importantes avances alcanzados en la última década. Es importante resaltar que el 80% de la producción piscícola proviene de jaulas y jaulones ya que estas muestran una mayor productividad comparada con la producción tipo estanque [1]. A pesar que el área destinada para la producción tipo estanque se ha incrementado en la región en la última década, los empresarios presentan unos márgenes de ganancias menores debido a una alta tasa de mortalidad que disminuye su producción hasta en 3 toneladas/año.

El manejo apropiado de la calidad del agua de estanques juega una función importante para el éxito de los cultivos acuícolas tipo estanque. Cada parámetro de calidad del agua puede afectar directamente la sanidad animal. La exposición de la tilapia roja y otros peces a niveles no apropiados de oxígeno disuelto (OD), amonio no ionizado, nitrato o ácido sulfhídrico conlleva al estrés y enfermedades [2-4]. Niveles desbalanceados de oxígeno pueden incrementar la toxicidad del amonio no ionizado y del ácido sulfhídrico. Por esto, mantener niveles balanceados de los parámetros de calidad del agua es fundamental para la salud y el crecimiento de los organismos de cultivo [5]. Por lo tanto, es pertinente y necesario monitorear y evaluar los parámetros de calidad del agua regularmente.

Por las razones descritas anteriormente, el OD es tal vez la variable más crítica de la calidad del agua en la producción acuícola ya que es un factor determinante en el crecimiento del pez [6]. La solubilidad del oxígeno en el agua se ve afectada por la temperatura, la presión atmosférica, la materia orgánica, la actividad fotosintética, y demás factores como lo son los organismos que habitan dentro de este ecosistema. Las principales causas

de el bajo nivel de oxígeno en los cultivos tipo estanque se deben a la alta concentración de peces, el perfil del crecimiento del animal, y la poca movilidad del agua; todos estos factores incrementan la tasa de mortandad del animal.

Para mantener los niveles óptimos de oxígeno en los cultivos tipo estanque, se utilizan aireadores o sistemas de recirculación cerrada que son activados de forma manual basado en la experiencia empírica del productor piscícola. Por otro lado, carencia del registro y control del OD puede llevar a niveles de oxigenación por encima de lo requerimientos, lo que se traduce en una pérdida de energía por el exceso de aireación.

El rápido avance de la tecnología y la reducción de costos de soluciones basadas en computador han permitido que los sistemas automatizados de control del OD en la acuicultura se hallan extendido a pequeños productores como se reporta en la literatura [7-9]. Sin embargo, aunque las soluciones expuestas sirven como referente sobre los métodos para satisfacer los requerimientos en OD, cada una de ellas trata unas condiciones de campo que no aplican para los sistemas de producción huilenses. Este es el caso de los productores de tilapia localizados en el norte del Huila, donde se presenta un consumo energético alto ya que los estanques requieren de un sistema de aireadores para que el OD se mantenga óptimo a lo largo del crecimiento del animal. El presente artículo reporta el diseño e implementación del control de OD en cultivos de tilapia para sistemas tipo estanque, que incluye aspectos técnicos de selección de sensor, como también la puesta en funcionamiento del sistema..

Lo que resta de este artículo se estructura de la siguiente manera: La Sección II hace una descripción de los sensores que son usados para la medición de la variable de interés, mientras que la descripción del sistema de control de OD se detalla en la Sección III. El sistema de medición, registro y control es descrito en Sección IV que también incluye algunos resultados de prueba de campo. Las conclusiones y los trabajos futuros se plasman en la Sección V.

II. Monitoreamiento del Oxígeno Disuelto

Hoy en día, con la disminución de los costos de computadoras y software, y el costo de hardware de monitoreo, los productores de acuicultura tienen una gran oportunidad para mejorar su producción y minimizar los riesgos

del proceso de cultivo de tilapia o afines. Esto se han convertido en una alternativa al alcance del productor.

Los productores acuícolas necesitan información precisa y en tiempo real sobre el proceso de crecimiento y engorde del animal con el fin de maximizar su potencial de producción. A altas densidades de producción, el fallo de los sistemas de aireadores puede dar lugar a que el pescado sufra estrés severo o incluso la pérdida significativa de la producción del estanque.

El OD es una medida de la concentración de oxígeno en el agua. La baja concentración de OD es la variable principal que limita el crecimiento y producción de peces en acuicultura intensiva y este parámetro debe mantenerse por valores no menores a 2 partes por millón (ppm). [7-9].

Para evitar que los niveles de OD disminuyan a concentraciones peligrosas (<2,0 mg/l), el nivel de aireación de OD al sistema debe coincidir con la tasa de respiración de los peces y las bacterias presentes en el tanque. La velocidad a la que se suministra oxígeno al sistema generalmente define la intensidad del cultivo de peces (kg de pescado/m³).

Los sensores que son usados para la medición de OD se pueden clasificar en dos grupos que se basan en su principio de funcionamiento: (a) sensores electroquímicos y sensores ópticos. Los que usan el principio electroquímico se basan en un sensor amperométrico que usa una celda electroquímica. Las principales desventajas de los sensores que presentan una membrana permeable son la dependencia de la difusividad del oxígeno con la presión [10] y la necesidad de realizar una limpieza periódica. Por otro lado, los sensores ópticos toman ventaja de las transiciones no reactivas cuando un átomo o molécula entra en contacto con un fotón de energía determinada.

Los sensores ópticos son la mejor opción para el monitoreo durante largos periodos del OD en las condiciones que se presentan en la acuicultura. Sus principales ventajas radican en la robustez de la técnica como también en que sus periodos de mantenimiento son menores que los electroquímicos. Por otro lado, la principal desventaja de los sensores que usan el principio óptico es que son usualmente más costosos que los electroquímicos lo que impide el uso extensivo en los procesos acuícolas.

El sensor de OD usado en la aplicación reportada aquí es fabricado por Sensorex de referencia DO6400/H. El DO6400 es un sensor galvánico elec-

troquímico que consta en un cátodo y un ánodo que se encuentran inmersos en una solución electrolítica. Esta solución se encuentra separada del fluido al cual se le desea medir el OD por una membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) que es permeable al oxígeno tal como se observa en la Fig. 1. El oxígeno que pasa a través de la membrana reacciona con el cátodo liberando electrones que producen una corriente eléctrica que a su vez pasa a través de un termistor. Este dispositivo se encarga de corregir los errores en la medición del OD producidos por el cambio en la permeabilidad de la membrana que se presenta gracias a los cambios en la temperatura del fluido.

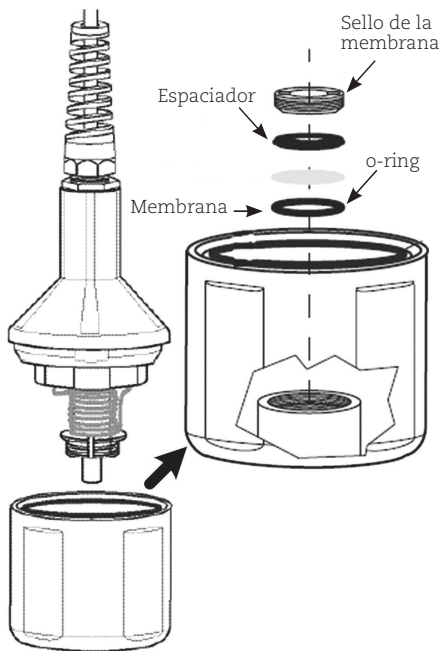


Figura 1. Sensor de oxígeno disuelto SenSorex ref. DO6400. Fuente: Ficha técnica SenSorex DO6400.

en ppm en lugar del porcentaje de saturación. Para esto, se hace necesario el conocimiento de: (1) la temperatura del fluido; (2) la presión donde se encuentra la sonda de medición en caso que la presión sea diferente a la presión de calibración; y (3) la salinidad del fluido. Todas las variables anteriormente mencionadas afectan la solubilidad del oxígeno; por tal motivo, los fabricantes de los sensores de OD proveen unas tablas para la compensación de la medida y poder así expresarla en ppm de una forma correcta [11].

El uso de este tipo de sensores hace necesario que se realice un proceso de calibración tal como se describe en el manual de usuario del sensor [11]. El proceso de calibración consta de dos pasos. El primer paso es la calibración en aire la cual consiste en la medición de la señal eléctrica arrojada por la sonda cuando se encuentra en contacto con el aire y orientada hacia arriba. En estas condiciones, la tensión arrojada por el sensor corresponde a su valor de saturación o valor máximo, mientras que una salida de 1 mV corresponde a la no presencia de oxígeno en la solución de interés.

En acuicultura se hace necesario que la medida del OD se exprese

En el caso de cultivos tipo estanque, la profundidad del depósito y la posterior ubicación del sensor dentro de él se debe tener en cuenta a la hora de precisar la compensación del sensor debido al cambio de presión. Ya que el sensor puede ser implementado en aplicaciones marinas, es necesario verificar y corregir las variaciones en la medida producidas por diferentes concentraciones de salinidad. Las Fig. 2 y Fig. 3 muestran los valores de OD saturado para diferentes grados de salinidad y presión respectivamente. Como se puede apreciar en la Fig. 2, para una presión constante, la salinidad del agua tiende a disminuir la cantidad de oxígeno en la solución. Por otro lado, en la Fig. 3 se observa que el incremento en presión favorece el grado de oxigenación.

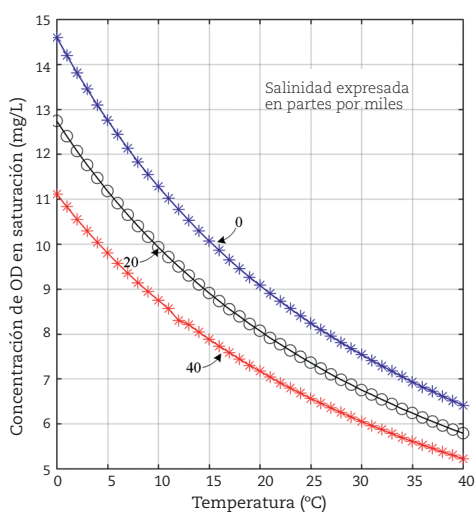


Figura 2. Relación de la saturación del OD expresada en ppm en función de la temperatura para diferentes grados de salinidad expresada en partes por miles.

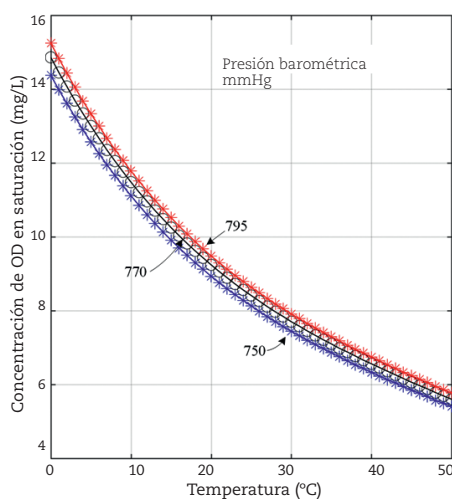


Figura 3. Relación de la saturación del OD expresada en ppm en función de la temperatura para diferentes presiones barométricas. Salinidad 0 partes por miles.

Tabla I. Características técnicas de la sonda de temperatura DS18B20 [12] .

Característica	Valor
Rango de temperatura de medición	-10 a +85 °C
Error en la medición	±0.5 °C
Tensión de operación	3 a 5.5 V
Tiempo de conversión 12-bits	750 ms

Dado que el cultivo de tilapia se encuentra localizado en el municipio de Aipe-Huila y se trata de agua dulce, se decidió trabajar con los datos mostrados en la Fig. 3 para una presión barométrica de 750 mmHg, Los datos describen una línea de tendencia polinomial de orden 3 que se muestra en la ec. (1) y puede ser usada para encontrar la concentración de OD en saturación expresada en ppm.

$$OD_{SAT}(T) = -5.0 \times 10^{-5}T^3 + 6.6 \times 10^{-3}T^2 - 3.8 \times 10^{-1}T + 14.33 \quad (1)$$

Donde T representa el valor de la temperatura del agua del estanque expresada en centígrados. Es importante notar que la ecuación anteriormente descrita aplica únicamente para agua dulce como lo es el caso del sistema tipo estanque.

Finalmente, el valor de la concentración de OD en el estanque puede calcularse usando la ec. (2):

$$OD = \left(\frac{\text{Tensión sonda en agua}}{\text{Tensión sonda en aire}} \right) OD_{SAT} \quad (2)$$

La ec. (2) muestra que el valor del OD medido debe ajustarse a partir de la medida de la temperatura. Para tal fin, una sonda con encapsulado a prueba de agua de referencia DS18B20 se encarga de realizar la medición de la temperatura y cuyas principales características técnicas se encuentran registradas en la Tabla I. La sonda de temperatura usada comunica la lectura en formato digital al sistema de adquisición de datos.

En esta sección se ilustró las técnicas para la medición del OD comúnmente aplicadas en la piscicultura y las consideraciones necesarias para expresar la medida en unidades de ppm. La relación de esta variable con la temperatura hace necesario que ésta última también registrada. La descripción del principio de control utilizado y el diseño del sistema de monitoreo se presentan en la siguiente sección.

III. Diseño del Sistema y Control

La oxigenación en piscinas artificiales depende de procesos que coloquen en contacto aguas que se encuentran debajo de la superficie con el aire [7]. La aireación artificial tiene como fin aumentar la superficie de con-

tacto entre el agua y el aire que se logra creando corrientes, turbulencias y burbujas de aire [13]. Diferentes tipos de aireadores para piscicultura se encuentran en el mercado; todos logran la transferencia de oxígeno de varios métodos. Los sistemas de aireadores se pueden dividir en cuatro grupos: (a) por gravedad, (b) de superficie, (c) tipo turbina, y (d) de difusión. Para aplicaciones en acuicultura se destaca el uso del tipo por difusión ya que la eficiencia en el proceso de aireación comparada con los otros métodos es mayor; sin embargo, en este documento se reporta el uso de superficie por paletas ya que era el que se encontraba disponible para implementación.

El sistema completo para la adquisición y control del OD se ilustra en la Fig. 4 y se compone en dos partes: (a) el sistema de cultivo y (b) el sistema de control.

A. Sistema de cultivo

El sistema de cultivo lo componen los elementos que se localizan en la unidad productora y que se encuentran en contacto directo con el medio de producción. El conjunto aireador-motor se encarga de oxigenar el estanque cuando la acción de control se lo indica. Así mismo, un procesador digital de señal (DSP) se encarga de adquirir las señales provenientes de los sensores de OD y temperatura para luego comunicárselas de forma serial a un módulo de transmisión inalámbrica referencia XBee Pro S3B 900HP que se encarga de difundirlas.

B. Sistema de control

El sistema de control y registro de la información está compuesto por: (a) un dispositivo de comunicación inalámbrica; (b) un DSP; (c) un variador de frecuencia conectado a la red eléctrica; (d) un sensor de medición de corriente; y (e) un módulo GSM/GPRS. El dispositivo de comunicación inalámbrica permite la recolección de los datos transmitidos desde el sistema de cultivo que al mismo tiempo son transferidos a la unidad microcontrolada encargada de procesar la información y ejercer la acción de control. Cuando los niveles de medición de oxígeno se encuentran cercanos a las 2.5 ppm, el DSP activa el variador de frecuencia que controla la velocidad rotacional del motor conectado al sistema aireador. Por último, las variables medidas son transmitidas por medio de un módulo GSM de referencia SARA-G3 a un servidor en la nube que permite el almacenamiento de la información para su posterior análisis o creación de reportes.

IV. Resultados

Se elaboró un primer prototipo del sistema mostrado en la Fig. 4 y que luego fue puesto en funcionamiento en la Piscícola San José en el municipio de Aipe, Huila. El comportamiento del OD y la corriente eléctrica consumida por el motor impulsor del sistema aireador durante un periodo de 12 horas se ilustran en la Fig. 5. En principio, el tiempo de muestreo del sistema de control es de 1 minuto; sin embargo, para economizar el plan de datos de telefonía, las variables de interés sólo se envían cada 5 minutos. La figura muestra entonces que el OD se mantiene por encima del valor crítico como resultado del control del sistema aireador.

Igualmente, la Fig. 4 muestra la corriente eléctrica consumida durante el mismo periodo de tiempo por el conjunto motoraireador. Uno de los aspectos claves del sistema propuesto comparado con los métodos convencionales no automatizados radica en que el consumo eléctrico no es constante. Tal como se puede evidenciar de la Fig. 4, el consumo eléctrico se ajusta a las necesidades de oxígeno. Por ejemplo, durante las horas 4 y 6, el sistema aireador tiene periodos de mayor consumo debido a que los niveles de

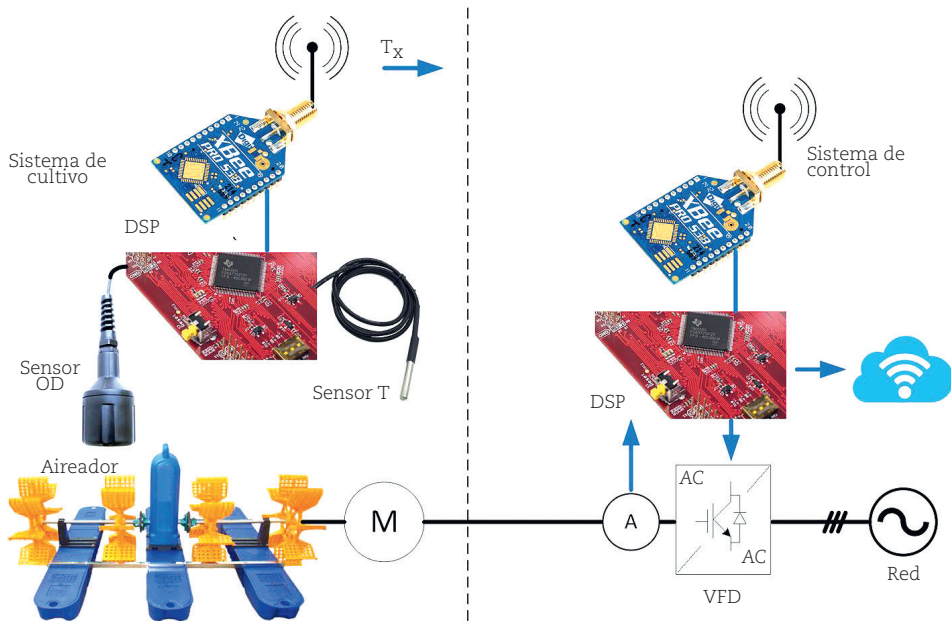


Figura 4. Sistema de monitoreo y control propuesto.

OD se acercan a los valores límites propuestos. Por lo tanto, el sistema de control presentado repercute en un menor consumo energético.

Por otro lado, los sistemas de radio que se muestran en la Fig. 4 permiten crear una red inalámbrica en caso de que más de una unidad de producción –estanque– se requiera controlar. Esto permitirá lograr una escalabilidad de la metodología empleada a más unidades tipo estanque que mantendrían un único sistema de control centralizado, lo que reducirá los de su implementación.

V. Conclusiones

En este trabajo describe el diseño y puesta en marcha de un sistema para el control de OD para un sistema piscícola tipo estanque. El sistema propuesto consta de un sensor de OD junto con un sensor de temperatura para ajustar las variaciones en la medida de OD producto de variaciones en la temperatura. Además, incluye dispositivos de transmisión de información de forma inalámbrica, lo que permite su escalabilidad para más de una unidad de producción piscícola. Esto permitirá la reducción de costos de implementación ya que un único sistema de control podría controlar el nivel de OD en varias unidades productivas.

La metodología propuesta en este artículo permite adquirir la adquisición de datos para su posterior análisis y creación de reportes. Esto indica poder contar con información que permita lograr su trazabilidad durante el proceso de crecimiento del animal. Este último aspecto se considera como un trabajo futuro y permitirá al pequeño o mediano productor crear estrategias para la mejora de su producción.

Reconocimiento

Los autores agradecen a la Corporación Universitaria del Huila- CORHUILA por el financiamiento del proyecto como también por la plataforma informática para el desarrollo del mismo. Igualmente extienden sus agradecimientos a la Piscícola San José en Aipe por facilitar sus instalaciones para la ejecución de este trabajo.

Referencias

- [1] GOBHUILA, "Agenda interna. plan regional de competitividad del huila," Neiva, 2015.
- [2] R. Miller Neilan and K. Rose, R. Miller Neilan and K. Rose. Simulating the effects of fluctuating dissolved oxygen on growth, reproduction, and survival of fish and shrimp. *Journal of Theoretical Biology* 343pp. 54-68. 2014.
- [3] M. Abdel-tawwab, A. E. Hagrass, H. A. Elbaghdady, M. and M. N. Monier. Effects of dissolved oxygen and fish size on nile tilapia, *oreochromis niloticus* (L.): Growth performance, whole-body composition, and innate immunity. *Aquacult. Int.* 23(5), pp. 1261-1274. 2015.
- [4] H. Liu, Y. Wei, C. Liu and Y. Chen. Predictive control of dissolved oxygen concentration in *cynoglossus semilaevis* industrial aquaculture. *Sensors & Transducers* 26pp. 111-116. 2014.
- [5] Francisco Roberto dos Santos Lima, Davi de Holanda Cavalcante, V. T. Rebouças and Marcelo Vinícius do Carmo e Sá. Interaction between afternoon aeration and tilapia stocking density. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 38(1), pp. 23-40. 2016.
- [6] T. I. Salim, T. Haiyunnisa and H. S. Alam, "Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture," in *2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 2016, pp. 208-213.
- [7] A. Mahmoud, T. N. Quang, E. Pavlov and A. Bilton, "Development of a solar updraft aeration system for pond aquaculture in resource-constrained environments," in *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 2015, pp. 306-313.
- [8] W. M. Elmessery and S. E. Abdallah, "Intelligent Dissolved Oxygen Control System for Intensive Carp System", *Jour. Agric. Eng. and Biotech.*, vol. 2, pp. 49-62, 2014.
- [9] M. K. El-Nemr and M. El-Nemr, "Fish farm management and microcontroller based aeration control system," *Agric Eng Int: CIGR Journal*, vol. 15, pp. 87-99, 2013.
- [10] J. Lee, T. Lim, Y. Seo, P. L. Bishop and I. Papautsky, J. Lee, T. Lim, Y. Seo, P. L. Bishop and I. Papautsky. Needle-type dissolved oxygen microelectrode array sensors for in situ measurements. *Sensors and Actuators B: Chemical* 128(1), pp. 179-185. 2007.
- [11] Sensorex Corporation, "Dissolved oxygen sensor care and use instructions," 2011.
- [12] Maxim Integrated, "DS18B20 programmable resolution thermometer," 2015.
- [13] W. McLarney, *Freshwater Aquaculture: A Handbook for Small Scale Fish Culture in North America*. Echo Point Books & Media, 2013.



**Zonificación para la producción agroforestal
del café (*Coffea arabica L.*) en el municipio de Policarpa,
departamento de Nariño – Colombia**

- **Nicolás Albarracín Bohórquez**
- Administración de Empresas Agroindustriales
- Corporación Unificada Nacional - CUN
- Bogotá, Colombia
- nicolas_albarracin@cun.edu.co
-
- **Oscar Fradique Escobar Pardo**
- Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
- Bogotá, Colombia
- ofescobar3@misena.edu.co
-

Resumen — Para el 2016, Nariño contaba con aproximadamente 38.800 hectáreas sembradas en café y una producción de 37.000 toneladas. El café Nariñense se destacó por ganar siete premios en el concurso de la Taza a la Excelencia 2017. Ahora bien, los sistemas productivos agroforestales por su manejo mixto en términos de especies maderables o árboles junto con pastizales, cultivos o animales, permiten dinamizar la economía campesina al activar el flujo financiero de las fincas contando con diversas fuentes de ingresos en diferentes épocas del año. Se realizó la zonificación para la producción agroforestal del cultivo de café en el municipio de Policarpa, departamento de Nariño por medio de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG.); involucro factores de suelo, fisiografía y características climáticas, coherente a la metodología de zonificación agro-ecológica de la FAO. Las variables medidas que se tuvieron en cuenta en la zonificación fueron la altura sobre el nivel del mar, conflicto de uso de suelo, erosión, áreas de reserva forestal y características climáticas como precipitación y temperatura. Los resultados obtenidos mostraron que las 42.545 hectáreas que conforman el municipio de Policarpa están distribuidas en un nivel óptimo del 3%, medio del 18,5% y bajo del 78,4% para la producción de café asociado con especies maderables o nativas. Adicionalmente se encontró que la Reserva Forestal del Pacífico está presente en un 78,16% del territorio de Policarpa lo que favorece la implementación de sistema agroforestales. La zonificación agroecológica a través del uso de Sistemas de Información Geográfica es una herramienta que permite ubicar áreas con un potencial óptimo para el desarrollo de Sistemas Agroforestales que simulen la producción de biomasa en condiciones naturales. Esta metodología puede ser implementada para la zonificación de cualquier cultivo o sistemas productivos, en las tomas de decisiones gubernamentales o empresariales en el sector agroindustrial.

Abstract — In 2016, Nariño had approximately 38,800 hectares cultivated in coffee and a production of 37,000 tons. The Nariño's

coffee stood out for winning seven awards in the 2017 Cup of Excellence competition. Now, agroforestry production systems, due to their mixed management in terms of timber species or trees together with pastures, crops or animals, allow the economy to be revitalized peasant by activating the financial flow of the farms with different sources of income at different times of the year. Zoning was carried out for the agroforestry production of coffee cultivation in the municipality of Policarpa, Nariño department by means of geographic information systems (GIS) tools; It involve soil factors, physiography and climatic characteristics, consistent with the FAO agro-ecological zoning methodology. The measured variables that were taken into account in the zoning were meters above sea level, land use conflict, erosion, forest reserve areas and climatic characteristics such as precipitation and temperature. The results obtained showed that the 42,545 hectares that make up the municipality of Policarpa are distributed at an optimum level of 3%, medium level of 18,5% and low level of 78,5% for the production of coffee associated with timber or native species. Additionally, it was found that the Pacific Forest Reserve is present in 78,16% of the territory of Policarpa, which favors the implementation of an agroforestry system. The agroecological zoning through the use of Geographic Information Systems is a tool that allows locating areas with an optimum potential for the development of Agroforestry Systems that simulate the production of biomass in natural conditions. This methodology can be implemented for the zoning of any crop or production systems, in the decisions of government or business in the agro-industrial sector.

Palabras Claves — Cultivos perennes, Geomática, conservación, agroindustria.

I. Introducción

Los sistemas agroforestales involucran sistemas de uso de la tierra (tradicionales y modernos) en los que los árboles se integran en entornos agrícolas con cultivos. Las ventajas en la implementación de los sistemas agroforestales incluyen la mejora en los ecosistemas mediante la fijación de carbono, prevención de la deforestación, incremento de la biodiversidad y reducción de la erosión entre otras (FAO, 2015)

Los modelos agroforestales han mostrado diversas ventajas para los pequeños productores frente a otros sistemas agroproductivos. Lopez & Ossa (2017), afirman que dichas ventajas se centran en: Conservación y manejo del suelo, mejoramiento del microclima en áreas de producción o de vivienda y diversificación de productos;

Por Ejemplo Isaac-Márquez (2004) realizó una investigación en Calakmul, México explorando la perspectiva campesina de la agroforestería, en donde concluyo que el 40% de los campesinos involucrados en proyectos agropecuarios, decidieron convertir sus parcelas a modelos de agroforestería toda vez que evidenciaban ventajas económicas para sus hogares.

Sin embargo, algunos autores han identificado falencias en los modelos agroforestales; Algunos sistemas de producción ganadera y agroforestales manejados inadecuadamente representan problemas ambientales que se reflejan en los efectos del cambio climático y en la pérdida de la biodiversidad, afectando notablemente el desarrollo sostenible (Lichtfouse, 2010).

Según la plataforma Siembra (CORPOICA, 2016) el departamento de Nariño aporta el 1,6% del PIB nacional; y el sector agropecuario aporta 14,9% al PIB departamental. Ahora bien, conforme al censo nacional agropecuario del 2014 (DANE, 2015b), el departamento de Nariño cuenta con alrededor de 254.000 unidades productivas con un promedio de 2,8 ha y representan el 10,7% de las unidades productivas agropecuarias de Colombia. En este sentido se puede entender que el departamento de Nariño cuenta con un

modelo agroproductivo a pequeña escala. Adicionalmente, Nariño cuenta con aproximadamente 38.800 hectáreas sembradas en café y una producción de 37.000 toneladas (CORPOICA, 2016). Es importante mencionar que el café Nariñense se ha destacado por ganar siete premios en el concurso de la Taza a la Excelencia 2017.

Por otro lado, según el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, de este departamento, el 21,95% del territorio está contemplado dentro de la Reserva Forestal del Pacífico y así mismo, del municipio en estudio –Policarpa– el 78,16% hace parte de la misma reserva. (IDEAM, 2006); dicha reserva forestal está delimitada por la ley 2 de 1959 y el decreto 2011 de 1974 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, los cuales permiten el uso agropecuario del suelo con previa autorización del Ministerio de Agricultura. (Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1959, 1974).

Dadas estas condiciones socioeconómicas, ambientales y de calidad en la producción de café, particulares del departamento de Nariño y del municipio de Policarpa, se planteó este proyecto con el objeto de poder determinar las zonas geográficas en las cuales sea viable desarrollar un modelo de producción agroforestal de café, de modo tal que se garantice la preservación de las zonas de reserva y se pueda continuar con el fomento de este cultivo significativo para la región.

II. Materiales y Métodos

Con la zonificación se pretende identificar áreas con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo de un modelo de conservación o producción específico (FAO, 1997); en ese sentido, para la zonificación se tomaron 5 capas vectoriales del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial del Instituto Geográfico Colombiano “Agustín Codazzi” (IGAC, 2018) a saber: Altimetría, Tipo de erosión, Precipitación, Temperatura y tipo de ecosistemas; esta última cartografía fue seleccionada con el objeto de identificar las zonas adecuadas para la producción agroforestal que aporte al desarrollo y protección de la reserva forestal del pacífico.

El proceso para identificar las relaciones entre las variables de estudio y la identificación del potencial agroproductivo y zonificación del café (*Coffea arábica L.*) se desarrolló con el uso del software libre de información geo-

gráfica QGIS v.2.18 (QGIS, 2018), realizando una clasificación de óptimo, medio y bajo a las diferentes variables de estudio y posteriormente un análisis de relación entre variables para determinar las matrices de conflicto, según la adaptación realizada del modelo integrado de optimización de potenciales del cultivo de González & Hernández, (2016).

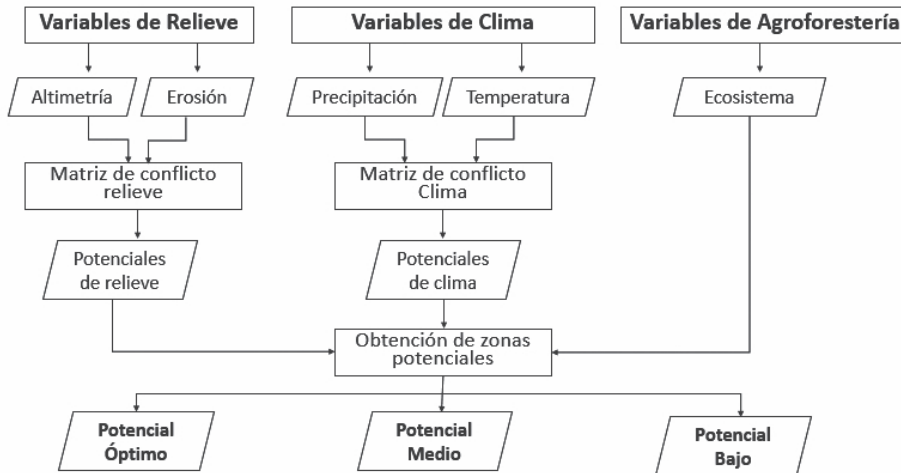


Figura 1. Flujograma para la zonificación de *Coffea arábica* L. en sistema agroforestal.
Fuente: Los autores, con base en González & Hernández, (2016)

A. Zona de estudio

El departamento de Nariño se encuentra ubicado en la frontera sur occidente de Colombia convirtiéndose así en un canal de comunicación con Ecuador y el océano pacífico; cuenta con una extensión total de 33.268 km². (Gobernación de Nariño, 2016). El Municipio de Policarpa se encuentra al noroccidente del Departamento de Nariño, su cabecera municipal está localizado entre 1°31' y 1°59' de latitud norte y los 77°21' y 77°40' de longitud oeste y las coordenadas X = 934.400 metros y 969.600 metros y Y = 667.600 y 711.200 metros. (Alcaldía de Policarpa, 2018).

En la figura 2, se evidencia la ubicación del Municipio de Policarpa del departamento de Nariño y sus características geográficas en términos de la altimetría del territorio. Ahora bien, según el DANE (2015a) el departamento de Nariño cuenta con 290.024 unidades agroproductivas (UPA) en las áreas rurales dispersas, en donde el municipio de Policarpa participa con 2.817 unidades que representan el 0,97%; sin embargo, el 93.57% de

ZONIFICACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN AGROFORESTAL DEL CAFÉ (*COFFEA ARÁBICA L.*)
EN EL MUNICIPIO DE POLICARPA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO – COLOMBIA

dichas UPA cuentan con menos de una hectárea para la producción. En la Figura 3 se muestra la distribución porcentual del número de UPA en el municipio de Policarpa.

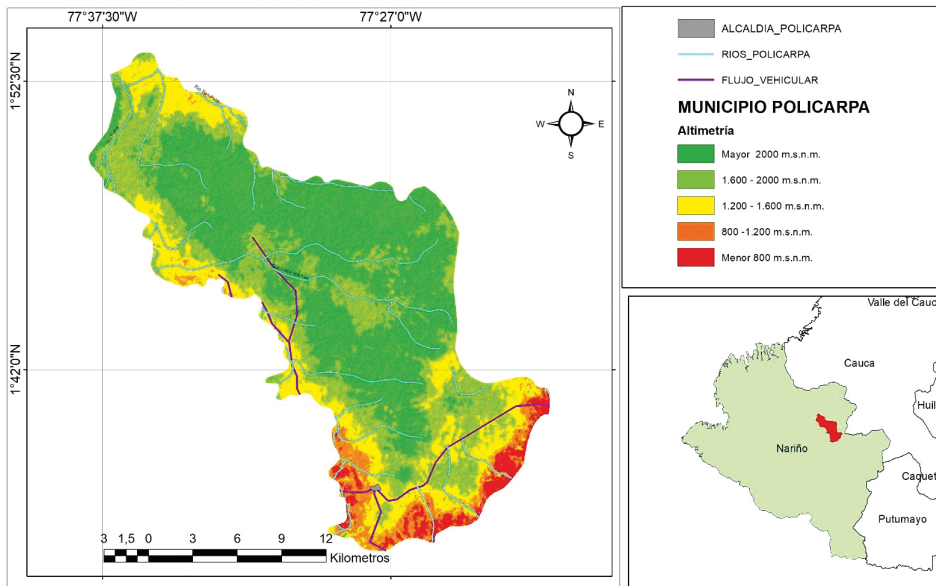


Figura 2. Municipio de Policarpa – Nariño. Ubicación geográfica y altimetría.
Fuente: Los autores, con base en (IGAC, 2018)

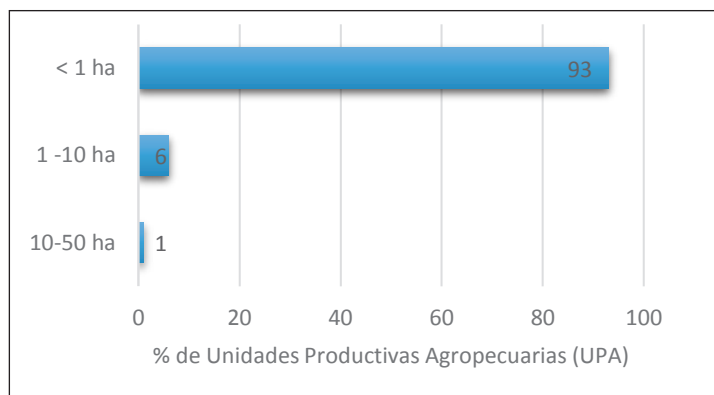


Figura 3. Distribución (%) del número de UPA en el municipio de Policarpa – Nariño.
Fuente: Los autores, con base en el DANE, (2015a)

Ahora bien, en términos de producción de café, según el censo agropecuario del 2014, en el municipio de Policarpa se identificaron 807 unidades productivas que contaban con algún tipo de producción de café, las cuales sumaban un total de 320,9 ha. (DANE, 2015a). En la tabla 1 se discriminan las variedades de café sembradas en el municipio y su área productiva. La variedad mas sembrada es la de café Castillo seguida por la variedad Caturra.

Tabla 1. Variedades de café sembradas en el municipio de Policarpa – Nariño.

Variedad	Área sembrada (ha)
Café Arábigo	16,9
Café Borbón	1,34
Café Caturra	101,3
Café variedad Colombia	33,6
Café Castillo	167,7
Total sembrado	320,9

Fuente: Los autores, con base en el DANE, (2015a)

III. Condiciones agroecológicas para la producción de café

Para poder desarrollar la zonificación del café en el municipio de Policarpa, se parte de analizar el potencial agroecológico, el cual es el conjunto de propiedades cuantitativas y cualitativas que ofrece la región las cuales pueden considerarse como favorables para el desarrollo del cultivo, con producciones de cantidad y calidad adecuados, garantizando la rentabilidad del negocio (González & Hernández, 2016).

Otro factor importante es la altura sobre el nivel del mar, que según la Federación Nacional de cafeteros (2006), para la producción de café puede variar entre 1000 y 1700 msnm dependiendo de la latitud en la que se encuentre el cultivo; así las cosas, para fines de la zonificación se ha dado la siguiente clasificación de potencial con base a la altitud para la producción de café del municipio de estudio, ver tabla 2.

En la figura 4 se establece el mapa de potencialidades para la producción de café respecto a la altura, en donde se evidencia las zonas óptimas para la producción, identificadas entre 1200 y 1600 msnm.

Tabla 2. Clasificación de la Altimetría para producción de café en el municipio de Policarpa – Nariño.

Altimetría	
Óptimo	1200 -1600 msnm.
Medio	1000 - 1200 msnm. 1600 - 1800 msnm.
Bajo	> 1800 msnm. <1000 msnm.

Fuente: Los autores, con base en (Federación Nacional de cafeteros, 2006)

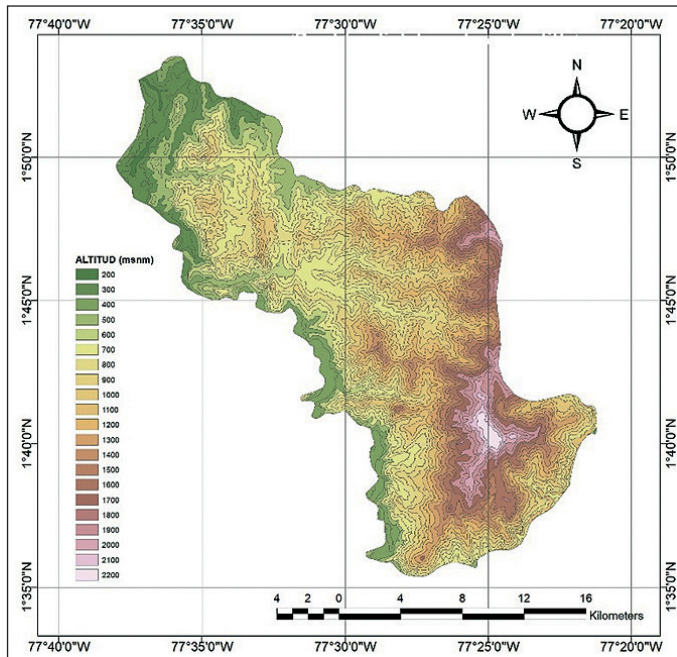


Figura 4. Altimetría. Municipio de Policarpa – Nariño.
 Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

Ahora bien, en términos del suelo, la información disponible en el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial referente al suelo y sus características hace referencia al nivel de erosión de los suelos del municipio, clasificándolos en erosión no apreciable, ligera y severa. Dado que la raíz de café es de tipo pivotante, requiere sue-

los profundos, pero son tolerantes a suelos de erosión leve; en la tabla 3 se evidencia el potencial de los suelos según su nivel de erosión.

Tabla 3. Clasificación de los tipos de erosión en suelos del municipio de Policarpa – Nariño.

Tipo de erosión	Clasificación	Area (ha)
No apreciable	Óptimo	834
Ligera	Medio	38651
Severa	Bajo	3060

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

La figura 5 permite observar la clasificación de los potenciales para la producción de café desde la perspectiva del suelo y sus condiciones de erosión, en donde según el código de colores, las zonas color verde y azul son las óptimas, mientras que las zonas color naranja cuentan con un potencial bajo para el establecimiento del café.

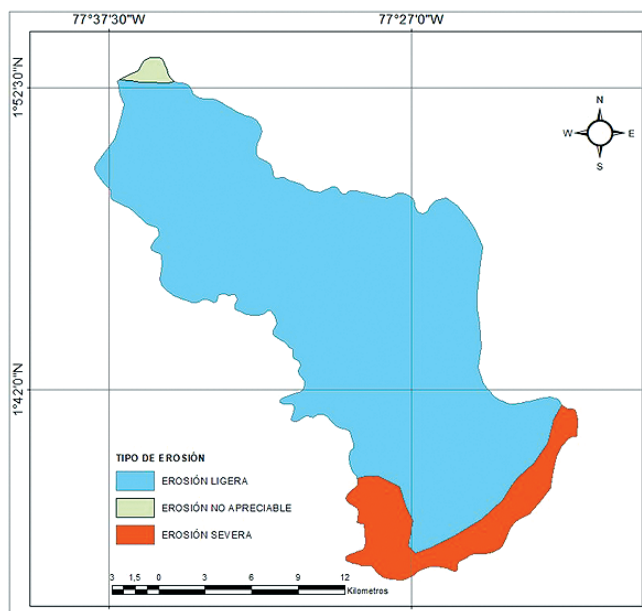


Figura 5. Tipos de erosión. Municipio de Policarpa – Nariño.

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

Referente a las variables climatológicas, se cuentan con dos características a estudiar, por un lado se analiza las características de precipitación, en

donde según Jaramillo, Ramírez & Arcila (2011) de Genicafé afirman que las condiciones de precipitación anual para latitudes similares al municipio de Policarpa varían entre 1400 y 1890 mm. La tabla 4 muestra los potenciales de producción de café según las precipitaciones.

Tabla 4. Clasificación de las precipitaciones del municipio de Policarpa – Nariño en función de la producción de café

Precipitación	
Óptimo	1000 -2000 mm
Medio	2000 -3000 mm 500 -1000 mm
Bajo	> 3000 mm < 500 mm

Fuente: Los autores, con base en (Alvaro Jaramillo, Ramírez, & Arcila, 2011)

Conforme a esta tabla, en la figura 6 se evidencia las zonas óptimas para la producción de café desde la óptica de la precipitación, es importante resaltar que no se identificaron zonas de bajo potencial dentro del territorio del municipio en estudio.

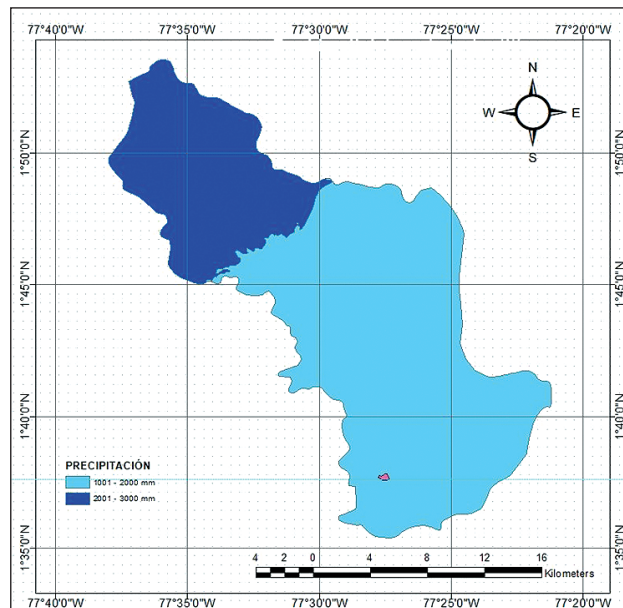


Figura 6. Precipitación. Municipio de Policarpa – Nariño.

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

La segunda variable climatológica a analizar es la temperatura; las zonas colombianas en donde se han contado con los mejores desempeños productivos del café cuentan con una temperatura media que varía entre los 18 y 22,5 °C. (Federación Nacional de cafeteros, 2006), sin embargo se han identificado zonas con una temperatura media un poco mas baja en donde algunas variedades de café han tenido una respuesta aceptable, como por ejemplo la variedad castillo, en ese sentido, en la tabla 5 se evidencian los potenciales productivos de café respecto a la temperatura media del municipio de Policarpa.

Tabla 5. Clasificación de las temperaturas medias del municipio de Policarpa – Nariño.

Temperatura media	
Óptimo	18° C - 24°C
Medio	12°C - 18°C
Bajo	> 24°C

Fuente: Los autores, con base en (Federación Nacional de cafeteros, 2006)

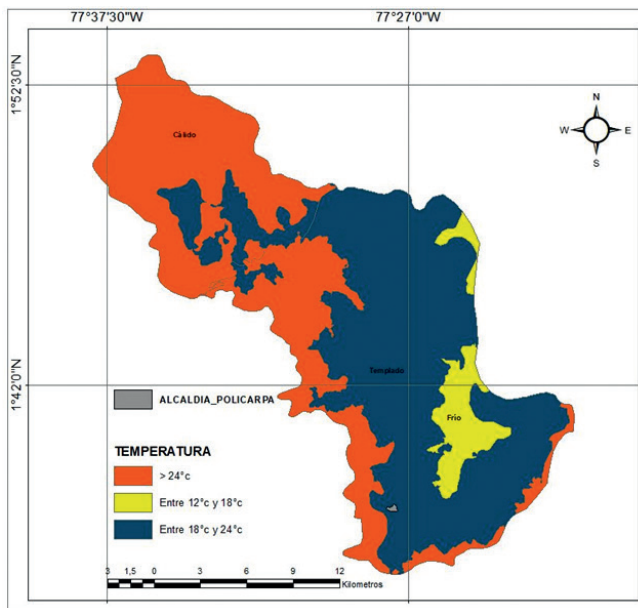


Figura 7. Temperatura promedio anual. Municipio de Policarpa – Nariño.

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

En consecuencia, la figura 7 permite observar las zonas del territorio del municipio de Policarpa – Nariño en donde se puede validar que las zonas azules son las que cuentan con un potencial óptimo, por su temperatura media, de soportar la agroproducción cafetera; las zonas amarillas son de potencial medio y las anaranjadas cuentan con un potencial bajo dada sus altas temperaturas medias.

Finalmente, y dadas las condiciones ecosistémicas del municipio referentes a la significativa presencia de la reserva forestal del pacifico - 78,16% - (IDEAM, 2006), se ve la necesidad de garantizar un modelo de producción sostenible del café, conforme a la ley 2 de 1959 y el decreto 2011 de 1974 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente; en la figura 8 se observa los tipos de ecosistemas presentes en el territorio de Policarpa.

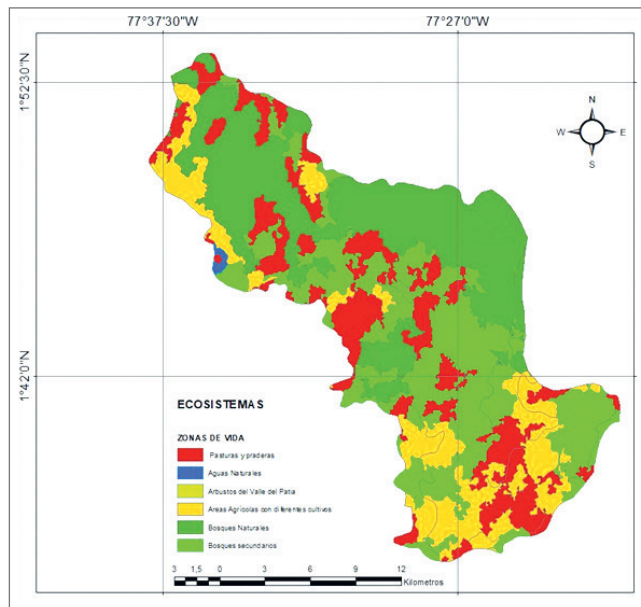


Figura 8. Tipos de ecosistema. Municipio de Policarpa – Nariño.
Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

En ese sentido, en la tabla 6 se relaciona los potenciales de producción cafetera, bajo el sistema agroforestal, en donde se resalta que la producción se desarrollaría de manera óptima en aquellos suelos donde actualmente se desarrolla algún tipo de agroproducción, toda vez que se parte de la base que dichos terrenos se encuentran con los permisos necesarios para

la explotación; por otro lado los bosques secundarios cuentan con un nivel medio de potencial toda vez que por antonomasia, estos tipos de bosques han tenido algún tipo de alteración, así mismo las zonas de pastura, que aunque los productores deben incurrir en un mayor costo financiero y de tiempo para el establecimiento del cultivo bajo el modelo agroforestal, implementar este tipo de modelos de producción puede llegar a ser benéfico para el suelo; finalmente el potencial bajo se encuentra en los bosques primarios, basado en que los bosques primarios no deben tener ningún tipo de intervención.

Tabla 6. Clasificación de los ecosistemas presentes en el municipio de Policarpa – Nariño.

Condiciones agroforestales	
Óptimo	Arbustos, áreas agrícolas con diferentes cultivos
Medio	Bosques secundarios - pasturas y praderas
Bajo	Bosques naturales

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

IV. Potencial agroproductivo y zonificación del café

La zonificación del café (*Coffea arábica L.*) se desarrolló por medio de la unión de los mapas de potencialidades coherente a lo planteado en el flujoograma de zonificación (figura 1); por ende, se realizó el relacionamiento de potencialidades dando como potencial resultado la menor clasificación conforme a las posibilidades presentadas en el cruce de información entre variables. Así las cosas, se realizó la unión de las variables de relieve (erosión y altimetría) Ver figura 4 y, en donde se obtuvo tanto el mapa de potenciales agroproductivas de relieve (figura 9) como la matriz de áreas de relieve (tabla 7).

En este orden de ideas, conforme a las condiciones de relieve, en el municipio de Policarpa en el departamento de Nariño se cuenta con 8615,2 ha. óptimas para la producción de café (*Coffea arábica L.*), 6352,9 ha. con un potencial medio y 27577,1 ha. con un bajo potencial para las explotaciones agroforestales de café.

Tabla 7. Matriz de áreas referentes a las variables de relieve en el municipio de Policarpa – Nariño.

Potencial de relieve	Área (ha)
Óptimo	8615,2
Medio	6352,9
Bajo	27577,1

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

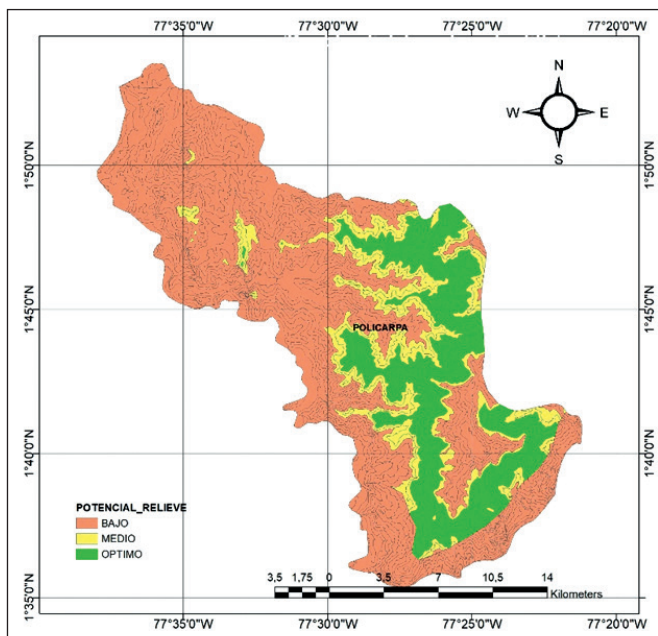


Figura 9. Potencial agroproductivo de café determinado por las variables de relieve (altimetría y erosión). Municipio de Policarpa – Nariño.
 Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

Por otro lado, al analizar y unir las variables de clima (temperatura y precipitación) ver figuras 6 y 7, se obtuvo tanto el mapa de potenciales agroproductivos por las condiciones climáticas (figura 10) como la matriz de áreas de clima (tabla 8).

Así las cosas, respondiendo a las condiciones climáticas, en el municipio de Policarpa en el departamento de Nariño se cuenta con 7043,5 ha. con una valoración óptima para la producción de café (*Coffea arábica L.*), 6212,1 ha. con un potencial medio y 29289,6 ha. con un bajo potencial.

Tabla 8. Matriz de áreas referentes a las variables de clima en el municipio de Policarpa – Nariño.

Potencial de clima	Área (ha)
Óptimo	7043,5
Medio	6212,1
Bajo	29289,6

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

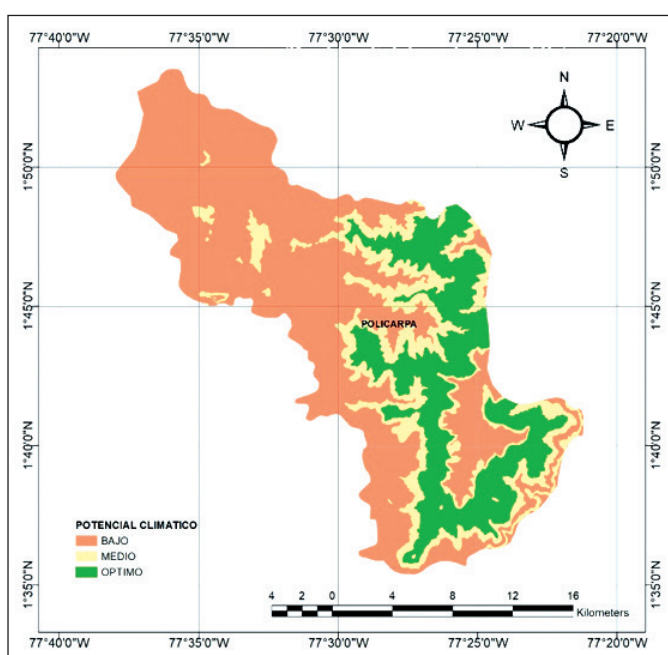


Figura 10. Potencial agroproductivo de café determinado por las variables de clima (precipitación y temperatura). Municipio de Policarpa – Nariño.

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

Finalmente, respecto a las condiciones ecosistémicas del municipio, se identificó que 7290,2 ha. son áreas óptimas para la producción de café, 21073,4 ha. cuentan con un potencial medio y 14181,6 ha. se consideran que tienen un bajo potencial para el establecimiento agroforestal del cultivo; en la figura 11 se evidencia los potenciales productivos de café determinados por el ecosistema y en la tabla 9 su respectiva matriz de áreas.

Tabla 8. Matriz de áreas referentes a las variables de ecosistema en el municipio de Policarpa – Nariño.

Potencial de ecosistema	Área (ha)
Optimo	7290,2
Medio	21073,4
Bajo	14181,6

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

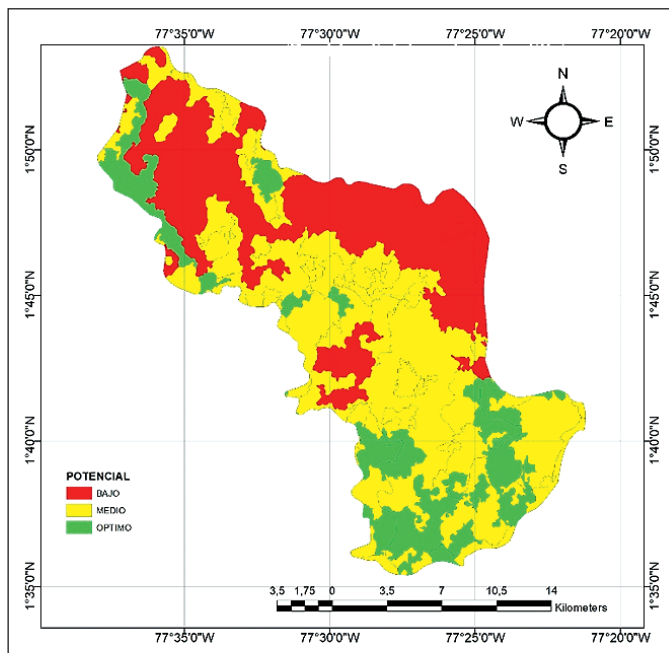


Figura 11. Potencial productivo de café determinado por el ecosistema. Municipio de Policarpa – Nariño. Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

El algoritmo usado para el procesamiento de capas vectoriales pertenece a las herramientas de geoprocreso del software libre QGIS QUANTUM versión 2.18 denominado unión, que crea una capa que contiene todas las características de ambas capas de entrada. En caso de encontrar áreas superpuestas o no entre ambas capas, crea polígonos cuya tabla de atributos contiene los valores de ambas capas procesadas. De esta manera al unir las capas de las variables de clima (por citar un ejemplo) la nueva capa obtenida contiene polígonos cuyos atributos tienen información tanto de la temperatura como de la precipitación permitiendo seleccionar las áreas

de interés de acuerdo a los requerimientos climáticos del cultivo del café. De la misma manera se realizó el ejercicio con las demás variables como se desarrolla en la figura 1.

Así las cosas, al realizar la unión de los mapas de potenciales de relieve, clima y ecosistemas, se obtuvo el mapa de la zonificación para la producción de café (*Coffea arabica* L.), bajo el modelo de producción agroforestal, en donde se identificaron 1290,6 ha. con las condiciones aptas para desarrollar este agronegocio, 7888,2 ha. con un potencial medio y 33366,5 ha. con un bajo potencial; en la tabla 10 y figura 12 se evidencia el resumen de la matriz de zonificación y el correspondiente mapa con las áreas delimitadas respectivamente.

Tabla 10. Matriz de zonificación para la producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio de Policarpa – Nariño.

Potencial de producción	Área (ha)
Óptimo	1290,6
Medio	7888,2
Bajo	33366,5

Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

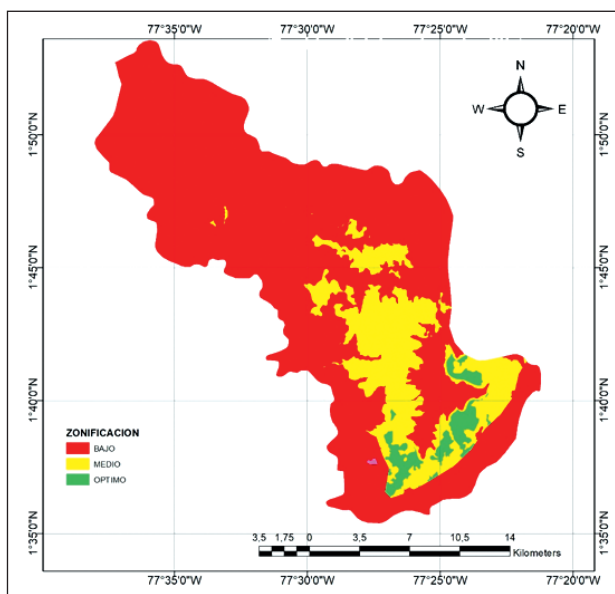


Figura 12. Zonificación para la producción de café en el Municipio de Policarpa – Nariño. Fuente: Los autores, con base en IGAC (2018)

V. Conclusiones

En el caso particular de este estudio, se puede evidenciar que el principal factor limitante para la producción de café puede ser el ecosistema, relacionado con las coberturas vegetales presentes en el municipio. Esta disyuntiva se presenta toda vez que a pesar de que el municipio de Policarpa cuenta con un 78% en reserva forestal del Pacífico, la implementación de cultivos está regulada como un área tanto de protección como de producción. Estos resultados remarcan la importancia de realizar estudios enfocados en la implementación de sistemas agroforestales con ayuda de herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

Al comparar los resultados de este proyecto con el reporte del DANE (2015b), respecto a las hectáreas sembradas de café actuales en el municipio –320,9 ha.–, Policarpa tiene la capacidad de ampliar hasta cuatro veces más las áreas productivas, bajo condiciones óptimas para la producción; si incluimos en las proyecciones aquellas áreas con potencial medio, el crecimiento puede llegar a ser de 28 veces el área actual.

La metodología de zonificación obtenida por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica es una herramienta eficiente para la planificación y ordenamiento de los territorios rurales, siempre y cuando exista una base de datos geográfica robusta y actualizada que permita tener al alcance la información necesaria en el momento de desarrollar estrategias de mejora en el sector agroindustrial. De manera particular, Colombia cuenta con el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial del Instituto Geográfico Colombiano “Agustín Codazzi”.

Referencias

- Alcaldía de Policarpa. (2018). Nuestro Municipio.
- CORPOICA. (2016). Sistema de Información, Emprendimiento, Búsqueda, y Recolección Agroindustrial.
- DANE. (2015a). COLOMBIA - Tercer Censo Nacional Agropecuario - 2014 -3er CNA.
- DANE. (2015b). Sistema de Consulta de Indicadores del Tercer Censo Nacional Agropecuario.
- FAO. (1997). Zonificación agro-ecológica : guía general.
- FAO. (2015). *Promoviendo la agroforestería en la agenda política — Una guía para tomadores de decisiones. Documentos de trabajo en agroforestería No. 1.* Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3182s.pdf>

- Federación Nacional de cafeteros. (2006). Descripción del proceso productivo y del beneficio del café. Guía tecnológica del cultivo. *Guía Ambiental Para El Sector Cafetero*, 51–80.
- Gobernación de Nariño. (2016). Plan participativo de Desarrollo Departamental. *Plan de Desarrollo Departamental de Nariño*, 255. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- González, H. A., & Hernández, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas*, 2016(90), 105–118. <https://doi.org/10.14350/rig.49329>
- IDEAM. (2006). Zona de reserva forestal del pacífico. In *Atlas zonas de reserva forestal - Ley 2 de 1959* (Ministerio, pp. 106–130). Bogotá.
- IGAC. (2018). Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial.
- Isaac-Márquez, R. (2004). Explorando la perspectiva campesina de la agroforestería en la reserva de la biósfera de Calakmul, 20(40), 54.
- Jaramillo, A., Ramírez, V., & Arcila, J. (2011). Distribución de la lluvia - Clave para planificar las labores en el cultivo del café en Colombia. *Cenicafé*, 8.
- Jaramillo, A., Ramírez, V. H., & Arcila, J. (2011). Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 410, 1–12.
- Lichtfouse, E. (2010). Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture (Sustainable Agriculture Reviews).
- Lopez, F., & Ossa, L. (2017). *Análisis del impacto de la agroforestería en los medios de vida de los caucheros de la vereda aguadulce del municipio de Belén de los Andaquíes - Caquetá*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- QGIS. (2018). Descarga QGIS para tu plataforma.
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Ley 2 de 1959 Nivel Nacional (1959).
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Decreto 2811 de 1974 Nivel Nacional (1974).



Estado del índice de escasez de agua superficial en el departamento del Huila

- **July Steffany González López**
- Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- july.gonzalez@corhuila.edu.co
-
- **Luis Alexander Carvajal Pinilla**
- Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- luis.carvajal@corhuila.edu.co
-
- **Omar Fernando Cuadro Mogollón**
- Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- omar.cuadro@corhuila.edu.co

Resumen — Fomentar una comprensión más amplia acerca de la dinámica de la escasez hídrica es trascendental para el desarrollo sostenible en las tierras secas del mundo. El objetivo principal de este estudio fue examinar la demanda de agua en 13 subzonas hidrográficas del departamento del Huila y sus respectivas cuencas abastecedoras, mediante el análisis del índice de escasez de agua superficial (Ie) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para el año 2017. Adicionalmente, se relacionaron las dinámicas del uso de agua en tres escenarios denominado año hidrológico seco, medio y húmedo, a partir de una serie histórica de 50 años. En el presente estudio se registró la mayor oferta hídrica superficial en la subzona 2101 (sur del Huila), con un caudal de hasta 300 m³/s. En el año hidrológico seco se encontró el estado más crítico en las subzonas 2106, 2110, 2111 y 2114 (centro y norte del Huila). En el año medio se registró un estado crítico en las subzonas 2106 y 2110 (centro del Huila). En el año húmedo solo se registró estado crítico en una porción de la subzona 2106 correspondiente al municipio de Garzón. De esta forma, acciones institucionales deberían ser desarrolladas, con el fin de fomentar el registro obligatorio del uso del agua ante la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) por parte de los propietarios de cada predio, teniendo en cuenta que el recurso hídrico es utilizado en el desarrollo productivo agrícola y pecuario para la región, siendo fundamental el suministro de la información a los proveedores de esta despensa agrícola.

Palabras Claves — Oferta hídrica, Demanda hídrica, Índice de escasez de agua.

Abstract — Encouraging a broader understanding of the water scarcity dynamics is far-reaching for sustainable development in the world's drylands. The main objective of this study was to examine the water demand in 13 hydrographic subzones of the department of Huila and their respective watersheds, by analyzing the surface Water Stress Indicator (WSI) in relation to the surface water supply available for the year 2017. Additionally, the dynamics of water use were associated in three scenarios called dry, medium and humid hydrological year. In this study, the highest surface water supply was recorded in subzone 2101 (south of Huila), with a flow rate of up to 300 m³/s. In the dry hydrological year, the most critical state was found in subzones 2106, 2110, 2111 and 2114 (center and north of Huila). In the middle year, a critical state was recorded in subzones 2106 and 2110 (center of Huila). In the wet year, only a critical condition was registered in a portion of sub-area 2106 corresponding to the municipality of Garzón. Thus, institutional actions should be developed, in order to encourage the mandatory registration of water use with the Regional Autonomous Corporation of the Alto Magdalena (CAM) by the owners of each property, taking into account that the water resource is used in the agricultural and livestock productive development for the region, being fundamental the information source to the suppliers of this agricultural pantry.

Key words — Water supply, Water demand, Water scarcity index.

I. Introducción

El recurso hídrico no es solo un elemento esencial para el consumo de los seres vivos para mejorar su bienestar, también representa un factor indispensable en los procesos de producción de los diversos sectores socioeconómicos [1]. Dado lo anterior, es relevante contar con un indicador que permita medir el estado y dinámica del agua disponible, regulado por la demanda y la oferta, frente al agua existente en las diferentes unidades hidrológicas abastecedoras [2, 3].

El indicador es denominado índice de escasez de agua superficial (I_e), que corresponde a la relación entre la cantidad de agua empleada por los diferentes sectores y la oferta hídrica superficial disponible, en un período determinado, por unidad espacial de subzona hidrográfica y cuencas abastecedoras de acueductos [4]. Éste índice permitirá monitorear las condiciones del recurso hídrico dentro de la dinámica climática y de uso del agua, a fin de constituirse en una herramienta directa para definir acciones para el mantenimiento de la función ecosistémica de las cuencas hídricas con enfoque de sostenibilidad ambiental [3, 5, 6].

A nivel mundial existe la necesidad de acoplar decisiones efectivas entre la planificación del uso de la tierra y la gestión del agua [7, 8]. La Unión Europea (UE) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas de agua denominado, Directiva Marco del Agua (WFD, por sus siglas en inglés). El propósito primordial de la Directiva es alcanzar un “buen estado ecológico” para todos los cuerpos de agua existentes en Europa, en el 2015 implementan el proceso de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas para todos los estados miembros de la UE, cuyo eje fundamental es la interacción efectiva entre la gobernanza, quien define el uso de la tierra, y el desarrollo de las ciudades [9].

Colombia es considerada como una potencia hídrica que por su variedad de ecosistemas de montaña permite una regulación de su ciclo ofreciendo

de forma constante el recurso agua. Debido a la alta disponibilidad, la población humana no se ha concientizado en el manejo adecuado del recurso; por lo tanto, desde 1998 se viene implementado la medición del índice de escasez de agua por parte del IDEAM en las fuentes hídricas de mayor importancia. Sin embargo, pese a la existencia de la legislación ambiental que da soporte a la medición del índice, éste no está siendo monitoreado de forma constante en cuencas hidrográficas a nivel nacional, ya que no se cuenta con registros detallados, y en otros casos, se carece de información acerca de la demanda de agua empleada tanto para las actividades socioeconómicas como la disponibilidad de agua para seres vivos, actividades agropecuarias y medio ambiente [1, 10].

Para el departamento del Huila, a través de la CAM, a nivel rural se cuenta con un registro de usuarios del recurso hídrico de una gran cantidad de cuencas hidrográficas, aunque no todas se encuentran con información detallada que refleje la realidad completa en cuanto a la demanda de agua para las diversas actividades antropogénicas (agropecuaria, doméstica, entre otras). Por lo anterior, el objetivo principal de este estudio fue examinar la demanda de agua en 13 subzonas hidrográficas del departamento del Huila y sus respectivas subcuencas, mediante el análisis del índice de escasez de agua Superficial (Ie) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para el año 2017.

II. Materiales y Métodos

El enfoque metodológico adoptado en el estudio, fue basado en el análisis del registro de usuarios del recurso hídrico que posee la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM) [10], partiendo de la premisa que todo predio rural debe tener un registro de usuario del recurso hídrico, como mínimo se debe registrar el uso doméstico. Se identificaron 13 subzonas hidrográficas en el departamento del Huila, cabe resaltar que el 100% de las subcuencas del departamento nacen en el Huila y desembocan en corrientes principales o en el río Magdalena dentro del territorio departamental. Asimismo, se identificaron tres escenarios para la dinámica del uso de agua (año hidrológico: i) seco, ii) medio y iii) húmedo) durante todos los meses del año desde 1967, la información fue compilada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARCGIS.

Modelo del índice.

Cálculo del índice de escasez

El índice de escasez se calcula de acuerdo a la siguiente relación [10] (ecuación 1): $I_e = D_e/O_n \times 100\%$. (Ec. 1). donde, I_e - índice de escasez { % }, D - demanda de agua { m^3 }, O_n - oferta hídrica superficial neta { m^3 }.

Cálculo de la demanda hídrica.

La demanda de agua (es el volumen de agua empleada para el desarrollo de las actividades socioeconómicas) está dada por la siguiente ecuación (Ec. 2):

$$D_t = D_{ud} + D_{ui} + D_{us} + D_{ua} + D_{up}. \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde D_{ud} { m^3 } corresponde a demanda para consumo doméstico y está por la siguiente expresión (Ec. 2.1.)

$$D_{ud} = D_{pcu} * n_{hu} + D_{pcr} * n_{hr} \quad (\text{Ec. 2.1.})$$

Donde, D_{pcu} = demanda per capita urbana, n_{hu} = número de habitantes urbanos, D_{pcr} = demanda per cápita rural, n_{hr} = número de habitantes rurales.

Donde D_{ui} { m^3 } corresponde a demanda para uso industrial y está por la siguiente expresión (Ec. 2.2.)

$$D_{ui} = \sum_{i=1}^n Vp_i \times Fc_{ji} \quad (\text{Ec. 2.2.})$$

Donde, $Vp_i Fc_{ji}$ = volumen de producción y factor de consumo de agua por tipo de producción y n = número de sectores industriales considerados.

Donde D_{us} { m^3 } corresponde a demanda para el sector servicios y está por la siguiente expresión (Ec. 2.3.)

$$D_{us} = \sum_{i=1}^n N_i \times Fcs_i \quad (\text{Ec. 2.3.})$$

Donde, N_i = número de establecimientos por tipo de servicios, Fcs_i = factor de consumo por tipo de servicio y n = número de tipos de servicios considerados.

Donde D_{ua} { m^3 } corresponde a demanda para uso agrícola y está por la siguiente expresión (Ec. 2.4.)

$$D_{ua} = \sum_{i=1}^n D_{ua}^i \quad (\text{Ec. 2.4.})$$

Donde, D_{ua}^i = demanda del i-ésimo cultivo, dada por la siguiente ecuación:

$$D_{ua}^i = \{ 0 \rightarrow \text{Si} [P - (ETP * Kc_i)] \geq 0 \text{ abs}([P - (ETP * Kc_i)] * ha_i) \rightarrow \text{Si} [P - (ETP * Kc_i)] < 0 \} \quad (\text{Ec. 2.4.1})$$

Donde, P= precipitación anual, ETP= evapotranspiración potencial, kc_i = factor de consumo del iésimo cultivo, ha_i = número de hectáreas cultivadas con él, n= número de cultivos considerados.

Donde D_{up} {m³} corresponde a demanda para uso pecuario y está por la siguiente expresión (Ec. 2.5.)

$$D_{up} = \sum_{i=1}^n Vpa_i \times Fca_i \quad (\text{Ec. 2.5.}) \quad (\text{Ec. 2.5.})$$

Donde, Vpa_i = volumen de producción por tipo de animal industrial, Fca_i = factor de consumo según tipo de animal y n = número de tipos considerados.

Cálculo de la oferta hídrica

La oferta hídrica (es el valor modal de los caudales promedios anuales o caudal modal) está dada por la siguiente ecuación (Ec. 3):

$$O_n = O_t \times (1 - R_e + R_{it}). \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde O_n {m³} corresponde a la oferta hídrica, O_t = oferta hídrica superficial total {m³}, R_e = factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, R_{it} = factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica.

La oferta hídrica superficial O_t está dada por la siguiente ecuación (Ec. 3.1.)

$$O_t = Q_0 * T \quad (\text{Ec. 3.1.}).$$

Donde Q_0 es el caudal modal en la fuente abastecedora {m³/s} y T es la cantidad de segundos en el intervalo de agregación del índice de escasez de agua.

El factor de reducción para el mantenimiento del régimen de estiaje R_e esta dado por la siguiente expresión (Ec. 3.2)

$$R_e = \frac{Q_{\min 97,5\%}}{Q_0} \quad (\text{Ec. 3.2.})$$

Donde $Q_{\min 97,5\%}$ equivale al caudal de estiaje con el 97,5% de probabilidad de excedencia.

El factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica R_{it} está de acuerdo al coeficiente de variación obtenido y aplicando la tabulación presentada en la tabla 1.

Tabla 1. Escala para el factor R_{it}

Cv	R_{it} [%]
0 - 0,2	15
0,2 - 0,3	25
0,3 - 0,4	35
0,4 - 0,6	40
>0,6	2

Valoración del índice

Con base en el programa hidrológico internacional de la UNESCO que definió los umbrales críticos de presión sobre el recurso hídrico [4, 11], acorde a la escala adaptada de valoración en el aumento de un umbral [10] el presente estudio adoptó la propuesta de valorar la presión del recurso hídrico en cinco umbrales críticos definidos en la tabla 2.

Tabla 2. Escala de valoración del índice de escasez de agua

Rango	Categoría	Significado
> 50	Muy Alto	Presión por demanda muy alta vs. oferta disponible
20.01 - 50	Alto	Presión por demanda alta vs. oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	Presión por demanda moderada vs. oferta disponible
1 - 10	Bajo	Presión por demanda baja vs. oferta disponible
≤ 1	Muy Bajo	Presión por demanda no significativa vs. oferta disponible

III. Resultados y Discusión

Durante el 2017 fueron monitoreadas 13 subzonas hidrográficas del departamento del Huila con un total 564 subcuencas (Tabla 3).

Tabla 3. Subzonas hidrográficas del departamento del Huila, 2017.

Subzonas Hidrográficas	Subcuencas
2101-Alto Magdalena	68
2102-Río Timaná y otros directos al Magdalena	14
2103-Río Suaza	30
2104-Ríos Directos al Magdalena (mi)	70
2105-Río Páez	65
2106-Ríos directos Magdalena (md)	38
2108-Río Yaguará	43
2109-Juncal y otros Ríos directos al Magdalena	20
2110-Río Neiva	23
2111-Río Fortalecillas y otros	62
2112-Río Bache	46
2113-Río Aipe, Río Chenche y otros directos al Magdalena	44
2114-Río Cabrera	41
Total Subcuencas	564

De acuerdo a la valoración del índice de escasez de agua superficial, se evidencia un estado más crítico para el año hidrológico seco, representado por una demanda categorizada entre alta y muy alta en algunas subcuencas, las subzonas hidrográficas 2106, 2110, 2111 y 2114, corresponden a las zonas centro y norte del departamento del Huila, donde se identifica claramente una presión de la demanda “muy alta” sobre la oferta hídrica superficial disponible, consideradas áreas críticas (Figura 1).

Con lo anterior se evidencia que de las trece subzonas, según la escala de valoración del índice de escasez de agua, en la que mayor se presentó escasez hídrica fue la 2110 (Río Neiva), específicamente en el año hidrológico seco. Asimismo, se observa que en las subzonas donde el estrés hídrico fue menor son: 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2109, 2112 y 2114, en los tres años hidrológicos (tabla 4)

Por otra parte, en términos generales, se observa una tendencia a mejorar las condiciones hídricas del departamento, no obstante, en el escenario ‘año medio’ se registró un estado crítico en algunas subcuencas de las subzonas 2106 y 2110 que corresponden a la zona del centro del Huila (Figura 2); y en

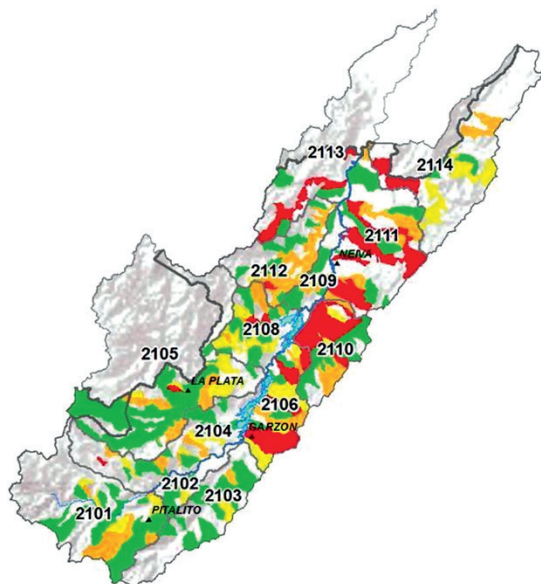


Figura 1. Índice de escasez hídrica de agua superficial, Año seco, Huila, 2017.

Tabla 4. Resultados del índice de escasez de agua en las trece subzonas de los tres años hidrológicos, Huila, 2017.

Subzonas	Año hidrológico Medio		Año hidrológico Seco		Año hidrológico Húmedo	
	Rango	Categoría	Rango	Categoría	Rango	Categoría
2101	1,04	Bajo	4,29	Bajo	0,38	Muy Bajo
2102	1,31	Bajo	2,92	Bajo	0,46	Muy Bajo
2103	0,79	Muy Bajo	2,95	Bajo	0,31	Muy Bajo
2104	1,43	Bajo	4,29	Bajo	0,49	Muy Bajo
2105	2,32	Bajo	6,49	Bajo	1,01	Bajo
2106	9,88	Bajo	24,04	Alto	3,85	Bajo
2108	4,04	Bajo	11,87	Moderado	1,21	Bajo
2109	0,63	Muy Bajo	2,62	Bajo	0,21	Muy Bajo
2110	11,45	Moderado	56,90	Muy Alto	3,51	Bajo
2111	5,58	Bajo	20,90	Alto	1,8	Bajo
2112	1,75	Bajo	6,78	Bajo	0,64	Muy Bajo
2113	2	Bajo	12,09	Moderado	0,67	Muy Bajo
2114	0,58	Muy Bajo	3,70	Bajo	0,19	Muy Bajo

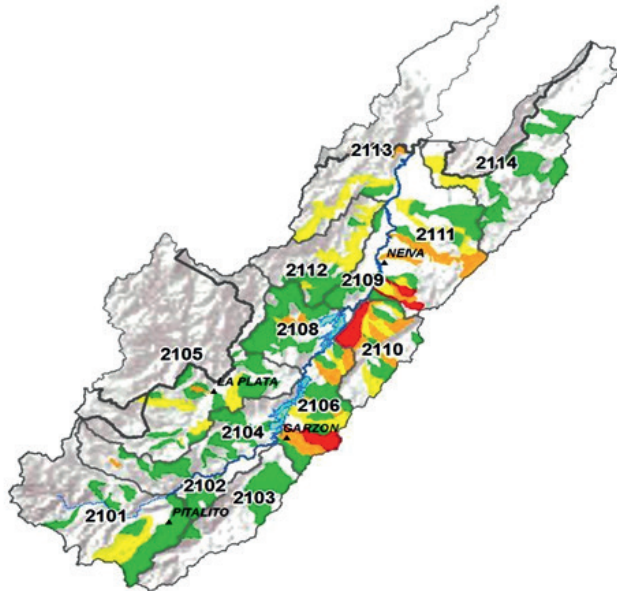


Figura 2. Índice de escasez hídrica de agua superficial, Año medio, Huila, 2017.

el escenario ‘año húmedo’ solo se registró estado crítico en algunas subcuencas de la subzona 2106 correspondiente al municipio de Garzón en la zona centro del Huila (Figura 3).

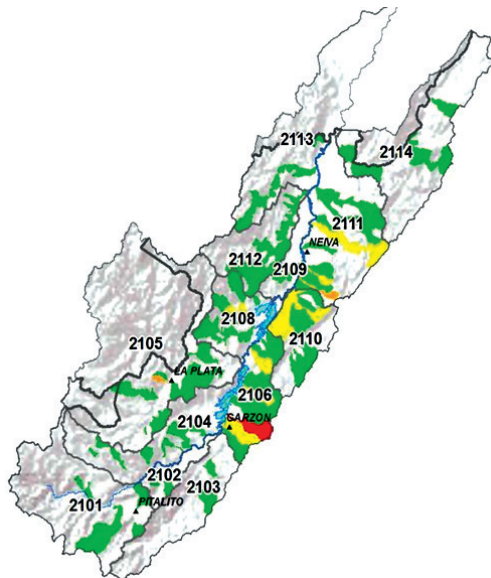


Figura 3. Índice de escasez hídrica de agua superficial, Año húmedo, Huila, 2017.

La particularidad de que el 100% de las corrientes hídricas nazcan en el departamento, significa para los habitantes, usuarios del recurso hídrico y autoridades competentes, contar con autonomía total para su administración, protección, uso y control [2, 10]. Es evidente que el registro de usuarios del recurso hídrico que posee la CAM no refleja la realidad completa en cuanto a la demanda de agua, lo que refuerza la necesidad de exigir a todo predio rural un registro de usuario del recurso hídrico, puesto que se identifican subzonas con alta presión de la demanda sobre la oferta hídrica superficial [1, 10].

En términos generales, el departamento del Huila cuenta con gran oferta hídrica para los tres escenarios registrados, en especial, los años medio y húmedo; no obstante, se deben realizar monitoreos constantes puesto que el índice obtenido aunque permite tener escenarios futuros, las condiciones climáticas cambiantes dadas por fenómenos como El Niño y La Niña, pueden alterar el déficit o la abundancia del recurso en las subcuencas [5, 6, 10].

A través del índice de escasez de agua superficial las autoridades ambientales cuentan con una herramienta valiosa para la gestión del recurso hídrico a nivel local, municipal y departamental, no sólo en el ámbito del abastecimiento doméstico, por el contrario, con funcionalidad para todos los sectores productivos, industriales y económicos [1, 3].

IV. Conclusión

De acuerdo a los hallazgos presentados en las 13 subzonas hidrográficas para los tres años hidrológicos establecidos en el presente estudio, las instituciones responsables del uso del recurso hídrico deben definir planes de acción colectivos que permitan el ordenamiento y administración del recurso hídrico y las cuencas hidrográficas, con la participación activa de todos los actores que hacen uso de este recurso. Adicionalmente, es necesario que para la optimización del recurso en el desarrollo productivo agrícola y pecuario para la región, es fundamental el suministro de la información sobre la demanda y oferta hídrica a los diversos proveedores de esta despensa agrícola.

Referencias

- [1] Jaramillo, C., Molina, F. & Betancur, T. (2011). Indices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación a la jurisdicción de Corantioquia. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 10(19), 33-45.
- [2] Zhang, Q., Xu C-Y. & Zhang, Z. (2009). Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. *Theor. Appl. Climatol*, 3, 89-99.
- [3] Huan, H., Han, Y. Cao, M., Song, J & Xiao, H. (2016). Spatial-Temporal Variation of Aridity Index of China during 1960-2013. *Advances in Meteorology*, 2016, 1-10.
- [4] IDEAM. (2004). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá.
- [5] Paulo, A., Rosa, R. & Pereira, L. (2012). Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1481-1491.
- [6] Gudmundsson, L., Greve, P. & Seneviratne, S. (2016). The sensitivity of water availability to changes in the aridity index and other factors - A probabilistic analysis in the Budyko space. *Geophysical Research Letters*, 43, 6985-6994.
- [7] Mitchell, B. (2005). Integrated water resource Management, Institutional Arrangements and Land-Use Planning. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 37, 1335-1352.
- [8] Carter, N., Kreuzwiser, R & Loë, R. (2005). Closing the circle: linking land use planning and water management and the local level. *Land Use Policy*, 22(2), 115-127.
- [9] Smith, H., Blackstock, K, Wall, G & Jeffrey, P. (2014). River Basin Management, development planning, and opportunities for debate around limits to growth. *Journal of Hydrology*, 519, 2624-2631.
- [10] Costa, C., Domínguez, E., Rivera, H. & Vanegas, R. (2005). El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?. *Revista de Ingeniería*, 22(1), 104-111.
- [11] OMN (1997). Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo. New York.



Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de emisión de gases en el cultivo del arroz

- **Ruthber Rodríguez Serrezuela**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- ruthber.rodriguez@corhuila.edu.co
-
- **Jorge Luis Aroca Trujillo**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- jorge.aroca@corhuila.edu.co
-
- **Daniel Ricardo Delgado**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Universidad Cooperativa de Colombia
- Neiva, Colombia
- danielr.delgado@campusucc.edu.co
-
- **Andrés Mauricio Navarrete Ramos**
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila - Corhuila
- Neiva, Colombia
- andres.navarrete@corhuila.edu.co
-

Resumen — La tercera fuente en cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero es el sector agrícola en Colombia, después de las industrias de las energías, los procesos industriales y el uso de productos, siendo este el efecto producido por las actividades humanas en el medio ambiente de la tierra, situándose en la parte por debajo del uso de productos en la misma emisión de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) según lo manifiesta el Ministerio de Medio Ambiente, 2017. Una cadena de impactos sobre el medio ambiente es generada de la actividad agrícola, procedente de la actividad ganadera, el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos, y otras labores como lo son el cultivo del arroz y la carbonización de los residuos agrícolas originados por dicha actividad.

Para tal fin se desarrolla una serie de dispositivos que permiten almacenar y posteriormente analizar los datos obtenidos durante las investigaciones realizadas. Nuestra contribución es el desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo de emisión de gases desarrollado bajo la plataforma Raspberry Pi y el software de adquisición y visualización de datos MyOpenLab. De este modo de una manera económica se puede realizar la gestión de parcelas agrícolas sobre la base de la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad

Abstract —The third source in amount of greenhouse gas emissions is the agricultural sector in Colombia, after the energy industries, industrial processes and the use of products. This being the effect produced by human activities in the environment of the land, being located in the part below the use of products in the same emission of carbon dioxide equivalent (CO₂-eq) as manifested by the Ministry of Environment, 2017. A chain of impacts on the environment is generated from the agricultural activity, from the livestock activity, the use of organic and synthetic fertilizers, and other tasks such as rice cultivation and the carbonization of agricultural waste caused by this activity.

For this purpose, a series of devices is developed that allow the data obtained during the investigations carried out to be stored and subsequently analyzed. Our contribution is the development of a prototype gas emission monitoring system developed under the Raspberry Pi platform and the MyOpenLab data acquisition and visualization software. In this way, in an economic way, the management of agricultural parcels can be carried out based on observation, measurement and action against variability.

Palabras Claves —Sistema embebido, IoT, Estructura, MCD, MCI.

I. Introducción

Uno de los sectores que más jalonan la economía de nuestro país, después de la industrial cafetera es el sector arrocero. Aunque existen grandes discrepancias entre los datos reales que nos entregan el gobierno y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [1].

Sin lugar a dudas este sector se ve afectado por el inminente cambio climático, la baja inversión en tecnología y las malas políticas públicas que apoyan al sector arrocero, las cuales hacen de este y los demás sectores agrícolas vulnerables. Es por esto que numerosos autores han querido contribuir en tecnificar la producción agrícola del país [2], [3]. En la última década, se han realizado varios avances en el área de control y automatización industrial [1], [2], [3], que han permitido una mejora significativa en procesos y sistemas [4], [5], [6].

De esto surge, el Internet of Things (IoT) es la interconexión de dispositivos físicos, vehículos (también conocidos como "dispositivos conectados" y "dispositivos inteligentes"), edificios y otros elementos integrados con componentes electrónicos, software y conectividad de red que permite que estos objetos recolecten e intercambien datos [7], [8].

Varios sistemas de comunicación se utilizan para la entrega de monitoreo, instrumentación y automatización. Especialmente para entregar información usando el sistema de radiodifusión, ya que son robustos para la destrucción de la infraestructura de red.

II. Materiales y Metodos

Se realizó una revisión del estado del arte en el tema del cultivo del arroz, identificando las etapas presentes en el proceso. De esta exploración se determinaron parámetros de diseño del sensor a desarrollar, tales como los niveles de concentración de CO₂ a monitorear. Con dichos parámetros

seleccionamos los materiales necesarios para llevar a cabo su implementación. Se seleccionó la tarjeta Raspberry Pi 3 para realizar el sistema embebido y el sensor MQ4 como dispositivo para adquirir los niveles de concentración. Se utilizó el software MyOpenLab implementado en la Raspberry Pi 3 para la visualización de los datos del sensor de gas. Los ensayos se realizaron en una estación experimental de molinos ROA, en el municipio de Campoalegre, Huila.

Raspberry PI 3

La plataforma Raspberry Pi es un computador de placa reducida, también conocidos como computadores de placa simple, del inglés: Simple Board Computer (S.B.C), de bajo costo, desarrollada por la fundación Raspberry, en el Reino Unido, construidas con el objetivo de lograr la inserción de los jóvenes en la enseñanza de las ciencias de la computación. Cuenta con un procesador de 1.2GHz, de 64-bit Quad-Core ARMv8, una memoria SDRAM de 1 GB, cuatro (4) puertos U.S.B., salida de video con conector RCA (PAL y NTSC), un puerto HDMI, almacenamiento integrado con microSD, salida de audio de 3.5 mm, conectividad de red por medio de terminal RJ-45 y conexión wifi, periféricos de bajo nivel con un bus de diecisiete (17) GPIO, un consumo energético de 800mA y 4 W. Así mismo, soporta los siguientes sistemas operativos: Debian (Raspbian), Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux.

Sensor MQ4

Este es un sensor para detectar gas metano (gas) en el cultivo de arroz, el MQ-4 puede detectar concentraciones de 300 a 10000 ppm. Este transductor contiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. El resultado tiene una resistencia de analogía, es el signo que nos permite analizar el comportamiento. La salida del sensor es una resistencia analógica. El circuito de interfaz es muy simple, todo tiene que ver con la fuente de alimentación de 5V, agrega una resistencia de carga y conecta la salida al convertidor analógico-digital.

MyOpenLab

MyOpenLab es un software orientado a la simulación, modelado y control de sistemas físicos, electrónicos con un amplio campo de aplicaciones. Con

este programa es posible diseñar instrumentos virtuales (VI), tal y como lo hacemos con Labview de National Instruments, a través de los cuales se puede realizar una aproximación a los sistemas de medida y control de una manera más realista.

La realización de un instrumento virtual se hace mediante dos pantallas: panel del circuito y panel visualización. En la primera área de trabajo se diseña el algoritmo del instrumento virtual mediante "bloques" o "elementos de función" y el segundo se muestran los datos o se generan los estímulos cuando se está en el modo de "simulación".

Ajuste de la sensibilidad

El valor de resistencia de MQ-4 es diferente de varias concentraciones de gas (Ver la Figura 1). Por lo tanto, el ajuste de sensibilidad es muy necesario. Recomendamos calibrar el detector para 5000ppm de concentración de CH₄ en aire y usar el valor de resistencia de carga (RL) de aproximadamente 20K Ω (10K Ω a 47K Ω). Cuando se mide con precisión, el punto de alarma conveniente para el detector de gas se debe determinar después de considerar la temperatura y la humedad (Ver la Figura 2).

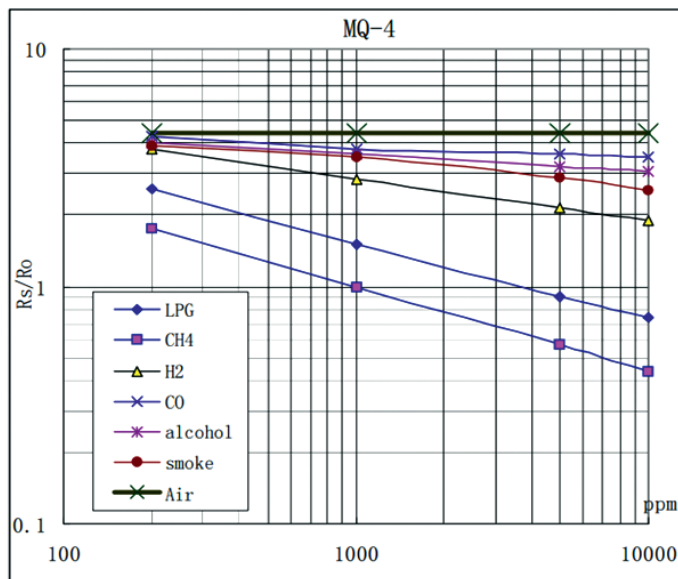


Figura 1. Curvas características de sensibilidad típicas del sensor MQ-4 para varios gases.

III. Diseño del sistema

Basados en la ficha de datos del convertidor DC-DC, LM3670MF-3.3, de la Texas Instrument, podemos calcular la bobina de la salida del convertidor. Existen dos consideraciones principales al elegir un inductor: la primera es que la corriente del inductor no debe saturarse y la segunda es que la ondulación de la corriente del inductor debe ser lo suficientemente pequeña para lograr la ondulación del voltaje de salida deseado. Hay dos métodos para elegir la clasificación actual del inductor.

Método 1: La corriente total es la suma de la corriente de la carga y la corriente de rizado en el inductor. Esto se puede escribir como:

$$I_{TOTAL} = I_{CARGA} + \frac{I_{RIZADO}}{2} \quad (1)$$

$$V_{CARGA} = I_{CARGA} * \frac{(V_{IN}-V_{OUT})}{2L} \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \frac{1}{f} \quad (2)$$

Donde:

I_{CARGA} : es la corriente de la carga

V_{IN} : es el voltaje de entrada

V_{OUT} : es el voltaje de salida

L : Inductor

f : frecuencia de conmutación

I_{RIZADO} : es la corriente de rizado

$$3.3 \text{ v} = 0.1A * \frac{(1.7\text{v})}{2L} \frac{3.3\text{v}}{5\text{v}} \frac{1}{1000\text{Hz}}$$

El valor del inductor seria: $L = 17\text{mH}$.

Método 2: Un enfoque más conservador es elegir un inductor que pueda manejar el límite de corriente de 700 mA. Dada una corriente de rizado pico a pico (I_{pp}), el inductor debe ser al menos:

$$L \geq I_{CARGA} * \frac{(V_{IN}-V_{OUT})}{2I_{PP}} \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \frac{1}{f} \quad (3)$$

$$L \geq \frac{(5\text{v} - 3.3\text{v})}{0.195A} \frac{3.3\text{v}}{5\text{v}} \frac{1}{1000\text{Hz}}$$

El valor del inductor seria: $L \geq 5.75 \text{ mH}$.

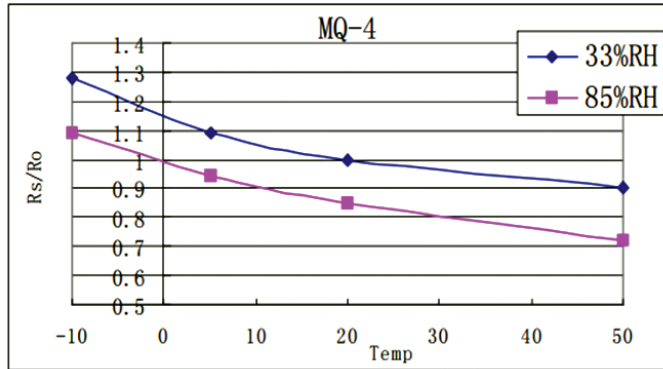


Figura 2. Muestra la dependencia típica del MQ-4 en la temperatura y la humedad.

Para la calibración el sensor MQ-4 se emplea la hoja de características del sensor. Se toman los datos en la escala logarítmica correspondiente al gas que se desea detectar, es decir, el gas carbónico, CO₂ (Ver figura 3). Se obtiene a través de una hoja de cálculo la siguiente relación:

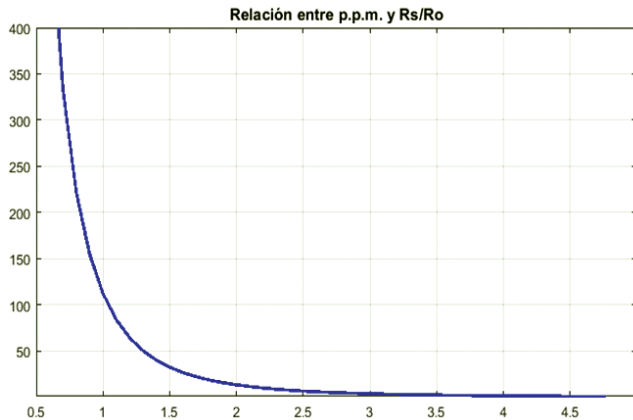


Figura 3. Curva graficada en Matlab de los datos obtenidos del sensor MQ-4.

Obtenemos la siguiente relación:

$$y(p.p.m) = 112.35 * \frac{R_s}{R_o}^{-3.05} \quad (4)$$

Mediante el empleo de esta ecuación se puede obtener el valor de R₀ de la calibración, la cual es constante y la R_s es variable en función de la lectura

realizada por el sensor. Calibrando el sensor para que opere a los 450 p.p.m. de CO₂, el valor de R_o se obtendrá de la siguiente relación:

$$\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = 0.608 \quad (5)$$

Si la lectura hecha en la Raspberry es de 15.11KΩ, la R_o estará dada:

$$R_o = \frac{R_s}{0.608} = \frac{15,11K\Omega}{0.608}$$

$$R_o = 24.85 K\Omega$$

Software

El sistema está compuesto por tres módulos; el primer módulo es el diseño de una página web que utiliza el software Dream Viewer y Xampp. Desarrollado para crear un servidor web con fines de prueba es una distribución simple y ligera de Apache (A), MySQL (M), Php (P) y PERL. El microprocesador Raspberry Pi 3 y el sensor MQ4 se usaron para implementar el sensor de gas (ver figura 6). Podemos observar la programación desarrollada para poder llevar a cabo la adquisición de los datos a través del sensor utilizando el microcontrolador propuesto (ver figura 7). Se desarrolló un programa en Labview para realizar las pruebas de adquisición, manipulación y observación de las mediciones realizadas por el sensor MQ-4 (ver figura 8 y 9).

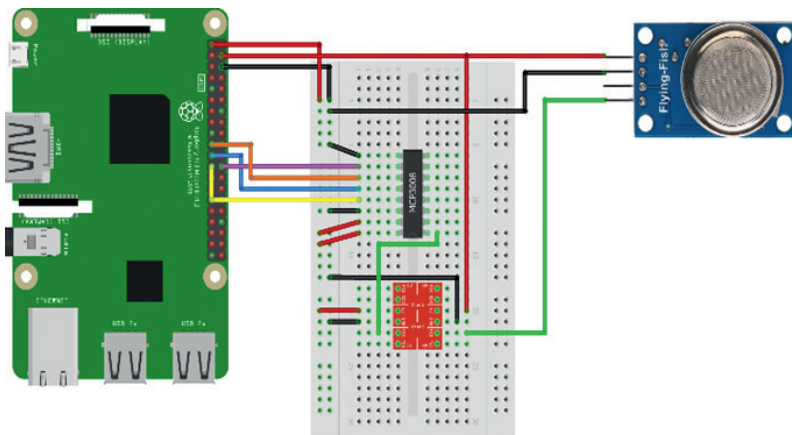


Figura 4. Circuito implementado para el sensor del gas. Autor.

Se implementó el servidor Apache pues proporciona código abierto, implementando un intérprete de comando para lenguaje HTML, PHP y PERL. Los lenguajes de programación web y las aplicaciones que utilizan la página web; solo el usuario puede acceder al sistema, encender/apagar la luz, el ventilador y la fuga de gas. En el segundo módulo es la piedra angular de interacción con el hardware, los sensores como el sensor de gas MQ4, el sensor IR y el laboratorio de software MP Proteus para instalar el tercer módulo serán la combinación de hardware y software utilizando PHP y C. integrados. El protocolo Wi-Fi IEEE802.11ah, para comunicación de largo alcance.

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

```
1 import RPi.GPIO as GPIO #Importamos la libreria GPIO
2 import time #Usaremos timer.sleep así que hay que importar time
3
4 GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Ajustamos la placa en modo BCM
5 GPIO.setup(4, GPIO.IN) #Indicamos que el pin 4 será de entrada
6 GPIO.setup(7, GPIO.OUT) #Indicamos que el pin 7 será de salida
7 GPIO.output(7, True) #Indicamos que el pin 7 está LOW (sin señal)
8
9 try:
10     while True:
11         if GPIO.input(4): #Si detectamos que el sensor se ha activado por la pres
12             print "GAS DETECTADO" #Sacamos por pantalla GAS CARBONICO DETECTADO
13             GPIO.output(7, False) #Enviamos la señal de activación al buzzer pin
14             time.sleep(5) #La señal (pitido) dura 5 segundos
15             GPIO.output(7, True) #Cerramos la señal poniendo el pin 7 en LOW y el
16             # Seguimos a la espera de otra señal por parte del sensor MQ-4
17
18 except KeyboardInterrupt:
19     print "El usuario ha forzado la detención del script"
20     GPIO.cleanup()
21 #Con KeyboardInterrupt detectamos si el usuario pulsa CONTROL + C y si es así
22 #cerramos el script y "limpiamos" los pines GPIO con GPIO.cleanup()
```

Figura 5. Programa en Python desarrollado para la implementación del sistema de monitoreo de gas carbónico con el sensor MQ-4. Autor.

Como se observa en el programa en Python se configura el GPIO, en la opción GPIO.BCM significa que se está refiriendo a los pines por el número "Broadcom SOC Channel", estos son los números después de "GPIO" en los rectángulos verdes alrededor del exterior de los diagramas ver figura 6.

General Purpose Input Output (GPIO) es un sistema de entrada y salida de propósito general, es decir, consta de una serie de pines o conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos.



Figura 6. Distribución de los buses GPIO de la Raspberry Pi 3.

Se desarrolló una interfaz en MyOpenLab del sensor del gas en la que pudiera instalarse en la Raspberry Pi 3, teniendo sistema operativo Raspbian (ver figura 7). Es una versión de Linux basada en Debian y especialmente desarrollada para Raspberry. Es un excelente gestor de contenido en el cual podemos obtener gráficamente los niveles de concentración de gas carbónico. En la figura 8, podemos observar parte del código desarrollado en el diagrama de bloques correspondiente al sensor.

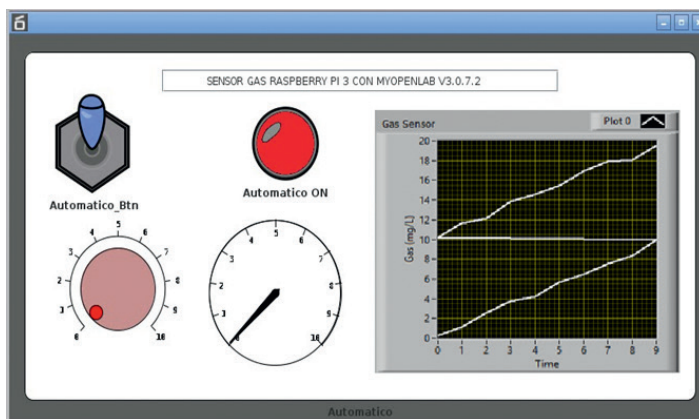


Figura 7. Panel frontal del sensor de gas desarrollado en MyOpenLab.

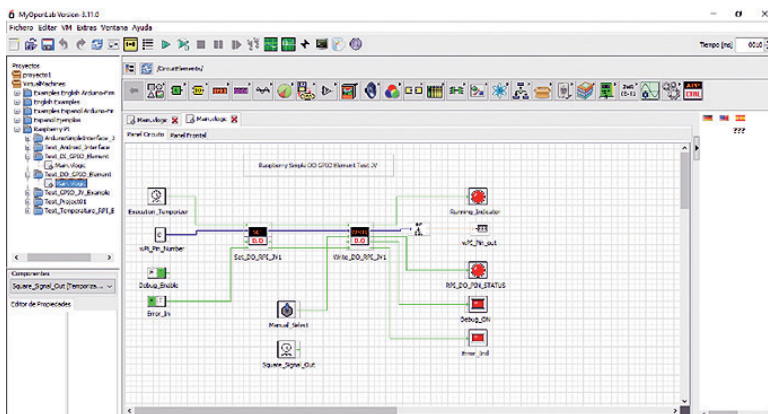


Figura 8. Diagrama de bloque en MyOpenLab para el sensor de gas desarrollado.

IV. Resultados

A continuación, se muestran las fases del cultivo del arroz desde la preparación del terreno, el trasplante y la formación de la plántula. Las mediciones de las emisiones de gas carbónico se realizan durante todo el proceso. Se ven ligeros incrementos durante la iniciación de la panícula, cerca del segundo mes, desde se da paso a las fases de floración, la de maduración y la de recolección del grano.

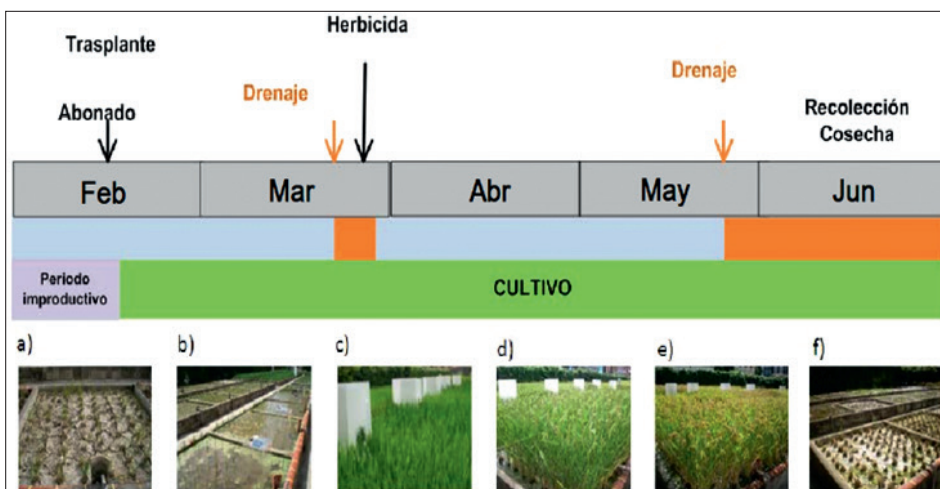


Figura 9. Fases del cultivo del arroz. a) Preparación inicial del terreno; b) Trasplante y formación de la plántula; c) Iniciación de la panícula; d) Floración; e) Maduración; f) Recolección del grano

En el interior de cada una de las cámaras se colocó un sensor de gas, a través de la Raspberry Pi 3 se envían los datos vía bluetooth siendo almacenados en un servidor, donde quedan registrados los niveles de concentración del gas (Ver figura 10). Una vez conocidas las concentraciones de CO_2 , se determinó el flujo de emisión de CO_2 ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$) utilizando la ecuación propuesta por [11]:

$$F = \rho \frac{V \Delta c}{A \Delta t} \frac{273}{T} \quad (6)$$

Donde, ρ es la densidad del CO_2 en condiciones normales es de $1,842 \text{ kg}/\text{m}^3$; V y A son el volumen (m^3) y el área (m^2) de la cámara respectivamente, $\Delta c / \Delta t$ es el incremento de la concentración de CO_2 en el espacio de la cámara en función del tiempo (p.p.m./h) y T es la temperatura absoluta presente en el sistema.



Figura 10. Cámaras construidas para el monitoreo de la emisión de gas metano.

En la figura 11, podemos encontrar el registro promedio de las medidas obtenidas de los niveles registrados por los sensores de gas carbónico (CO_2) diseñados en las cámaras construidas para el monitoreo. Podemos identificar que los niveles promedios no sobrepasan los $85 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Los niveles más altos de producción de gas carbónico se presentan en la mitad de la fase vegetativa. Esta fase comprende desde la siembra, pasando por la emergencia del coleoptile de la semilla, seguido de la aparición del primer macollo hasta la iniciación de la panoja. Sus niveles bajan ostensiblemente en la fase de maduración entre los días 72 y 102, respectivamente alcanzando los niveles más bajos, $52 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$. En la maduración se puede

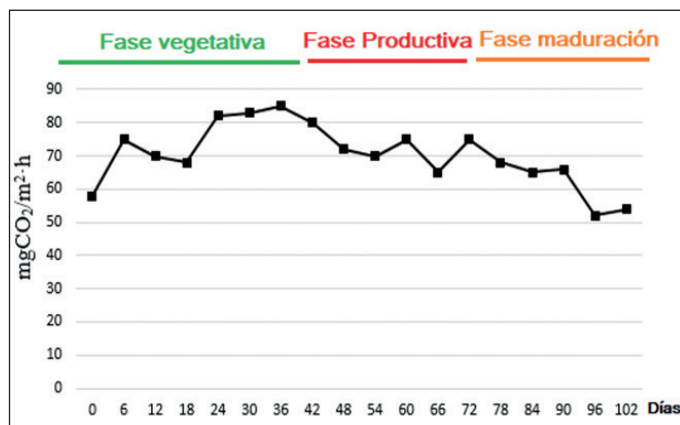


Figura 11. Evolución de las emisiones de CO₂ a lo largo del ciclo de cultivo del arroz

observar más del 80% de las espiguillas de la panoja. La cariósida está completamente desarrollada en tamaño, duro y sin tonalidades verdosas.

V. Conclusiones

- A partir del trabajo realizado, se pueden extraer las siguientes conclusiones:
- El diseño de dispositivos útiles a la agricultura mediante electrónica flexible, posibilitan tecnificar este sector productivo, permitiendo desarrollar aplicaciones de gran interés para la agronomía, las cuales serían difíciles de desarrollar mediante métodos convencionales.
- La utilización de Raspberry, como computadores de placa simple, del inglés: Simple Board Computer (S.B.C), permiten instalar sistemas operativos como Raspbian y poder trabajar con programas como MyOpenLab que permitan desarrollar sistemas embebidos como un sensor de gas carbónico.
- Los valores de CO₂ de los cultivos de arroz analizados no variaron en función de la gestión de los fertilizantes utilizados. Sin embargo, estos parámetros evolucionaron a lo largo del ciclo de cultivo.
- Durante el ciclo de cultivo del arroz, la producción máxima de CO₂ se produjo alrededor del día 30 en todas las alternativas estudiadas, coincidiendo con el inicio de la floración.
- Las mayores emisiones de CO₂ se produjeron bajo la alternativa

de incorporar paja en el cultivo, con una emisión estacional de 70 mgCO₂/m²·h.

- Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, en lo que se refiere al CO₂ la alternativa de paja incorporada al campo fue la más favorable.
- Los niveles registrados por los sensores de gas carbónico (CO₂) diseñados en las cámaras construidas para el monitoreo no sobrepasan los 85 mgCO₂/m²·h.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses con respecto a la publicación de este documento.

Referencias

- [1] Di Natale, C., Paolesse, R., Burgio, M., Martinelli, E., Pennazza, G., & D'Amico, A. (2004). Application of metalloporphyrins-based gas and liquid sensor arrays to the analysis of red wine. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 49-56.
- [2] Gómez, I., & Gómez, J. (2015). Sistema de adquisición de datos de bajo costo, basado en hardware y software libre y abierto. *Revista QUID*, (17), 23-28..
- [3] Bell, C. (2014). *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi*. Apress.
- [4] Leccese, F., Cagnetti, M., & Trinca, D. (2014). A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX. *Sensors*, 14(12), 24408-24424.
- [5] Shinde, P. A., & Mane, Y. B. (2015, January). Advanced vehicle monitoring and tracking system based on Raspberry Pi. In *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2015 IEEE 9th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- [6] Bahrudin, M. S. B., Kassim, R. A., & Buniyamin, N. (2013, December). Development of fire alarm system using raspberry pi and arduino uno. In *Electrical, electronics and system engineering (iceese), 2013 international conference on* (pp. 43-48). IEEE.
- [7] Stafne, E. T., Clark, J. R., & Rom, C. R. (2001). Leaf gas exchange response of Arapaho'blackberry and six red raspberry cultivars to moderate and high temperatures. *HortScience*, 36(5), 880-883.
- [8] Jindarat, S., & Wuttidittachotti, P. (2015, April). Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino. In *Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), 2015 International Conference on* (pp. 284-288). IEEE.

- [9] Ibrahim, M., Elgamri, A., Babiker, S., & Mohamed, A. (2015, October). Internet of things based smart environmental monitoring using the Raspberry-Pi computer. In Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), 2015 Fifth International Conference on (pp. 159-164). IEEE.
- [10] Leccese, F., & Cagnetti, M. (2014). An Intelligent and High Efficiency Street Lighting System Isle Based on Raspberry-Pi Card, ZigBee Sensor Network and Photovoltaic Energy. *technology*, 3(6).
- [11] Naser, H. M., Nagata, O., Tamura, S., & Hatano, R. (2007). Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, 53(1), 95-101.
- [12] Serrezuela, R. R., Cardozo, M. A. T., Ardila, D. L., & Perdomo, C. A. C. (2017). Design of a gas sensor based on the concept of digital interconnection IoT for the emergency broadcast system. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(22), 6352-6356.



Estrategia para la generación tecnológica integrada orientada a la estructuración productiva para uso sustentado de las pasifloras

- **Ana María Costa**
- Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa Cerrados)
- Brasília – Distrito Federal, Brasil
- ana-maria.costa@embrapa.br
-
- **Luciano Mansor de Mattos**
- Embrapa Cerrados
- Brasília – Distrito Federal, Brasil
- luciano.mattos@embrapa.br

Resumen — La cartera pasiflora fue creada con la finalidad de organizar las investigaciones acerca del tema pasiflora en Brasil e impulsar la cadena productiva de la generación tecnológica, favoreciendo una rápida estructuración para que el consumidor pueda acceder nuevos productos de la biodiversidad. La Portafolio alberga proyectos y equipos de diferentes áreas del conocimiento, de diferentes instituciones públicas y privadas. Se añadieron esfuerzos de las redes “Mejoramiento Genético de Maracuyá” y “Passitec”, en conjunto con las demás redes de la cartera, para viabilizar la estructuración de la cadena productiva de *Passiflora setacea* BRSPC. La estrategia adoptada, por la cual sigue la estructura de generación tecnológica de Passitec, comprende tres etapas: 1. Identificación de los conocimientos para el llenado de las lagunas tecnológicas necesarias para la estructuración sostenible de la cadena de producción, siendo los estudios realizados a escala de laboratorio, 2. Desarrollo tecnológico conjunto con el sector productivo, de las tecnologías con mayor posibilidad de éxito técnico y de mercado; 3. Estructuración coordinada de los eslabones productivos y de mercado. La aplicación de la metodología por Passitec permitió la generación de más de 200 publicaciones entre comunicados, folletos y trabajos técnico-científicos, la estructuración de la cadena productiva del BRS-PC en el Distrito Federal y otras regiones brasileñas, siendo el esfuerzo reconocido por medio del premio Celso Furtado del Desarrollo Regional, concedido por el gobierno brasileño.

Abstract — The Passiflora Portfolio was created with the purpose of organizing research on the passiflora theme in Brazil and bringing the productive sector closer to the technological generation, favoring the rapid structuring of production so that the consumer has access to new products coming from their biodiversity. The Portfolio comprises projects and teams from different areas of knowledge, from different public and private institutions. The sum of efforts of the “Genetic Improvement of Passionflower” and “Passitec” networks, together with the other Portfolio networks, enabled the structuring of the productive chain of *Passiflora setacea* BRSPC. The strategy adopted by the Portfolio, which follows the structure of technological generation of Passitec, comprises three steps: 1) Identification generation of knowledge to fill the technological gaps necessary for the sustainable structuring of the production chain, being the studies carried out in laboratory scale, 2. Joint technological development with the productive sector, the technologies with the greatest possibility of technical and market success; 3. Coordinated structuring of production and market links. The application of the methodology by Passitec allowed the generation of more than 200 publications among communications, folders and technical-scientific work, the structuring of the BRSPC production chain in the Federal District and other Brazilian regions, and the effort was recognized through the Celso Furtado of Regional Development Prize, granted by the Brazilian government.

Palabras Claves—Indicaciones, formatación, estilo.

I. Introducción

La puesta en el mercado de especies de la biodiversidad desconocidas de los productores y consumidores exige la generación de conocimientos y tecnologías que permitan la estructuración de la cadena de producción. Se trata de un gran desafío, considerando lo poco conocimiento existente de la mayoría de las especies silvestres. Además, estas tecnologías deben ser absorbidas por los diferentes segmentos productivos y de forma coordinada, para que el flujo de producción ocurra sin estrangulamientos, y así el producto pueda alcanzar al consumidor final con éxito.

Es necesario, por lo tanto, la integración de esfuerzos de diferentes áreas del conocimiento y acciones conjuntas con el sector productivo. No menos importante, es la estructuración de políticas públicas que favorezcan la generación tecnológica y organización de la cadena de producción.

La cartera Passiflora, coordinada por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), fue creada con la finalidad de organizar la generación de informaciones y tecnologías para la colocación en el mercado de las pasifloras brasileñas poco conocidas y traer mayor sostenibilidad social, económica y ambiental para las pasifloras comerciales.

La cartera comprende los proyectos y redes de investigación que además del conocimiento de la biodiversidad de las pasifloras y trabajos de mejoramiento genético, rellenan las islas del conocimiento de la cadena de producción de las pasifloras uniéndolas al sector productivo. El modelo de trabajo fue inspirado en la Red Passitec, integrante del Portafolio Passiflora, que viabilizó la rápida estructuración productiva de la primera variedad de la especie *Passiflora setacea*, la BRS Pérola del Cerrado (BRS-PC). El esfuerzo conjunto y coordinado de la investigación, asistencia técnica rural, productores rurales y empresas de la cadena de producción de las pasifloras ha permitido una mayor oportunidad de ingresos para los actores de la cadena, y el gradual acceso de los consumidores a los beneficios de la biodiversidad brasileña.

II. Las pasifloras brasileñas

Las especies de pasiflora, en Brasil, son conocidas genéricamente por "maracujá" que es una denominación indígena tupi-guaraní que significa frutos para sorber o alimento en formato de cuya [1].

Se estima que existen en Brasil cerca de 150 de las 932 especies de la familia de las Pasifloras [2; 3; 4]. Estas especies presentan gran diversidad y variaciones morfológicas en el tamaño, formato, color y aroma de hojas, flores y frutos y aptitud de usos, resultado de cruces y selección natural en los diversos ambientes de ocurrencia [3].

Cerca de 70 especies brasileñas presentan frutos comestibles [5] y la mayoría de la mayoría tienen indicación popular para el uso Fito terapéutico para el tratamiento de enfermedades nerviosas, como sedante, analgésico, control de temblores, dependencia química, diurético dismenorrea, obesidad, y tratamiento de tumores [6; 7; 8], siendo parte del conocimiento validado para las especies comerciales [8].

Además del potencial alimentario y medicinal, existe la aptitud ornamental de parte de ellas debido a la belleza de las flores y follajes, lo que puede ser de gran interés para la aplicación en el paisajismo de grandes áreas [9].

A pesar de los posibles usos de las especies silvestres de pasifloras, hasta 2015 la comercialización en los centros urbanos se restringía básicamente a las especies *Passiflora edulis* Sims e *Passiflora alata* Curtis. La baja utilización de las especies silvestres motivó la estructuración de acciones comunes de investigación en conjunto con el sector productivo, con el propósito de acelerar la inserción de las nuevas pasifloras en el mercado y traer mayor sostenibilidad económica, social y ambiental a las especies ya comercializadas con miras a proporcionar alternativa de ingreso a los productores rurales de la agricultura familiar, beneficiados de la reforma agraria y agroindustrias.

III. Cadena de producción de las passifloras en Brasil

La principal especie de pasiflora producida en Brasil es la *Passiflora edulis* Sims, conocida por maracujá agria, siendo las variedades de cáscara amarilla, las más comunes en los huertos de las diferentes regiones de producción. Se cree que la especie ocupe alrededor del 95% de los huertos

comerciales cultivados con especies de pasiflora. En 2015 el área ocupada por el maracujá agrio fue de 50.837 ha, totalizando una producción aproximada de 695.000 t y rendimiento medio aproximado de 14 t ha⁻¹ [10]. La mayor producción fue obtenida en Bahía (42,8%), seguida de Ceará (13,4%), Espírito Santo (5,4%), Minas Gerais (5,4%) y Pará (4,8%). El Distrito Federal, que ocupa la vigésima posición en términos de área plantada, se destaca con la mayor productividad, en la franja de 31,0 t ha⁻¹. Se atribuye el éxito productivo a la utilización de variedades más apropiadas para la región, efectiva aplicación de las recomendaciones técnicas de cultivo, seguimiento de los cultivos por la asistencia técnica rural (EMATER DF), proximidad de los centros de investigación de Embrapa y Universidades [10] y mercado consumidor activo que demanda innovaciones continuas para el mantenimiento de la competitividad.

El cultivo de las demás especies de pasiflora se suma al restante 5% de los huertos, con predominio *Passiflora alata* Curtis (maracuyá dulce) producida principalmente para atender la demanda de la industria de Fito terapéutica y cosmética. Con el lanzamiento de la primera variedad comercial de la especie, en diciembre de 2017, se cree que el área plantada del maracuyá dulce para la producción de fruto de mesa habrá de expandirse en los próximos años [11].

Otra especie con buena capacidad de producción es la *Passiflora setacea* BRS Pérola del Cerrado, conocida popularmente por maracuyá pérola. Gracias al trabajo integrado de la investigación, asistencia técnica rural, asociaciones de productores y cooperativas se verifica una rápida expansión de los cultivos de lesa variedad lanzada en 2013 por la Embrapa Cerrados [12]. El fruto es rico en aromas y que poco recuerda al maracuyá agrio, ha conquistado el gusto del consumidor y ha sido fuente de inspiración para renombrados chefs de la cocina brasileña [13].

Además de no existir estadísticas actualizadas, la mayor parte de la producción de pasifloras viene de la agricultura familiar, con áreas entre 05 y 20 ha, donde en su mayoría, áreas entre 1 y 5 ha en el DF y alrededores. [14]. La mano de obra empleada para el mantenimiento de los cultivos es la de la familia, con suplementación de trabajo temporero en la época de plantación, polinización de las flores (en el caso del maracuyá agrio) y cosecha de los frutos.

Los cultivos tecnificados utilizan variedades mejoradas genéticamente, pues éstas presentan ganancias en productividad, tolerancia a enferme-

dades y mejor calidad de frutos. Emplean irrigación para suministro de agua y abonos en el período de sequía. Los productores del DF que realizan cultivo en sistemas protegidos por invernaderos poseen productividades superiores a la media del DF, llegando hasta 70 t ha⁻¹ en el caso del maracuyá agrio, según los datos de la Red Passitec.

La producción de la maracuyá pérola no necesita de polinización manual, y debido su rusticidad, exige pocos tratos culturales, en lo general se hace el abonado suplementar y conducción de las ramas. Como se trata de un cultivo poco exigente en cuidados cuando se lo compara al maracuyá agrio y otras frutales, ha sido recomendado para áreas donde la agricultura familiar posee poca experiencia en la producción de frutales y disponga de baja capacidad de mano de obra, como es el caso muchos beneficiados de la reforma agraria del DF [13]. Según las observaciones de la Comisión EMATER DF, los cultivos de esta especie han sido conducidos en pequeñas áreas, de hasta 1 ha, en la mayoría de los casos en sistema agroecológico/ orgánico, por productores que se inician en la actividad agrícola.

Los frutos de mejor calidad del maracuyá agrio, dulce y pérola son comercializados para consumo in natura, y los menores o con apariencia inadecuada son conducidos para el procesamiento de pulpa o son descartados.

En el caso del maracuyá agrio, el mercado de jugo y néctares presenta un importante segmento de mercado. Para una de las principales empresas productoras de Brasil, el jugo de maracuyá ocupa el segundo lugar en el ranking de comercialización en el mercado interno, sólo detrás del consumo de jugo de uva. Debido a la gran demanda por el producto, muchas veces la industria importa frutos o pulpa concentrada de países de América Latina para complementar la producción [15].

Tras el mercado de frutas y pulpa, existe el del aprovechamiento de sub-productos del procesamiento del fruto como el de harina de cáscara para uso como suplemento alimenticio, el de semillas para la decoración de platos, artesanía y extracción del aceite para aplicación alimentaria, Fito terapéutica, cosmética y de las hojas para la industria del té, cosmético y farmacéutico.

IV. Políticas públicas brasileñas para la agricultura familiar

En conformidad con la Ley n° 11.326/2006, es considerado agricultor familiar y emprendedor familiar rural aquel que practica actividades en el

medio rural, posee área de hasta cuatro módulos fiscales, mano de obra predominantemente familiar, renta familiar vinculada al propio establecimiento rural y gestión del establecimiento o emprendimiento por la propia familia. También se añade a la ley los silvicultores que atiendan las restricciones anteriores (y que cultiven bosques nativos o exóticos y promuevan el manejo sustentable de aquellos ambientes), los acuicultores que cumplan los requerimientos anteriores (y que explotan reservorios hídricos con una superficie total de hasta 2 hectáreas y ocupan 500 m³ de agua cuando la explotación se efectúa en tanques redes), extractores que cumplan los preceptos anteriores (excepto límite de 4 módulos fiscales y que ejerzan sus actividades artesanalmente en el medio rural), los pescadores (que ejerzan la actividad artesanalmente), pueblos indígenas (sin imposición del límite de 4 módulos fiscales), asistidos afro descendentes que atiendan a la ley (excepto límite de 4 módulos fiscales) [16].

Según la Secretaría Especial de la Agricultura Familiar y del Desarrollo Agrario (SEAD), el 90% de los municipios brasileños con hasta 20 mil habitantes tienen como base económica la agricultura familiar. Según el Censo Agropecuario de 2006 se identificaron 4.367.902 establecimientos de la agricultura familiar, lo que representa 80,25 millones de hectáreas, 84,4% del número y 24,3% del área de los establecimientos rurales brasileños. Los resultados demuestran la mayor eficiencia de la agricultura familiar delante a la terrateniente, pues la primera registra el 38,0% de participación del Valor Bruto de Producción Agropecuaria (VBPA) con sólo el 24,3% de las tierras, albergando el 87% de la producción de mandioca, 70 el 58% de la leche de vaca, el 50% de la carne de vacuno, el 46% del arroz y del 30% de la carne de puerco. Otro dato que traduce la importancia estratégica del sector, se remite a su participación en la generación de empleos en el campo, pues entre los 16,5 millones de personas empleadas, la agricultura familiar encamina 12,3 millones (74,4%), con promedio de 2,6 personas con más de 14 años por establecimiento rural [17; 18; 19; 14]. Dentro de ese escenario productivo, el maracuyá aparece como uno de los cultivos típicos conducidos por la agricultura familiar en diversas regiones de Brasil.

Se trata de un complejo productivo heterogéneo que comprende una fracción menor de familias tecnificadas e insertadas en el mercado de consumo doméstico, y en su mayoría, familias que caminan entre el auto consumo y la comercialización de excedentes cuando oportunidad de mercado se les abren, mismo con utilización de técnicas rudimentarios de producción, baja capacidad de trabajo, inversiones, acceso tecnológico y rentabilidad.

A veces, esa situación resulta en el éxodo rural y la venta de la fuerza de trabajo al agro negocio y centros urbanos [20; 19; 13].

En el sentido de mejorar el escenario del rural brasileño, a partir de 2003, diversas políticas públicas fueron idealizadas e implantadas para favorecer al desarrollo rural y la fijación de los agricultores en el campo. Entre las acciones destacadas, las que promovieron la mejora de los valores pagados a productos de la agricultura familiar, las que permitieron el acceso a nuevos mercados (Programa Nacional de Alimentación Escolar - PNAE, Programa de Adquisición de Alimentos - PAA y Ferias de la Agricultura Familiar), la ampliación del acceso a la tierra (Reforma Agraria), las iniciativas dirigidas a la mejora de la escolaridad en el medio rural (Colegios Agrícolas e Institutos Federales de Educación e Investigación), las regalías para la investigación y desarrollo de tecnologías orientadas a la agricultura familiar y el acceso al crédito rural (Programa Nacional de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar - PRONAF) [16; 21;22].

Con el apoyo de estos programas se establecieron estrategias para la construcción social de mercados e inserción de nuevos productos de la biodiversidad en el mercado consumidor doméstico, permitiendo a la agricultura familiar acceder a tecnologías apropiadas y nuevas oportunidades de ingresos, y que la población pudiera disfrutar productos diferenciados y beneficiosos para la salud [13]. Para ello, algunos de los programas fueron fundamentales:

El Programa Nacional de Alimentación Escolar (PNAE), creado como Programa Merienda Escolar por Getúlio Vargas, en 1954, bajo coordinación Ministerio de Educación (2018), fue fortalecido con el objetivo de abrir nuevas oportunidades de comercialización de los productos de la agricultura familiar a precios más justos. El programa permitió aprovechar la producción local de diversas regiones brasileñas, además de haber contribuido a diversificar la base alimentaria de los estudiantes de la red pública de enseñanza y valorar la cultura alimentaria regional. Por intermedio del programa, las alcaldías de los municipios pudieron adquirir alimentos directamente de los establecimientos rurales y sus asociaciones de agricultura familiar para su distribución en las escuelas, permitiendo que parte de la merienda escolar fuera preparada con productos regionales de la agricultura familiar, a precios equivalentes a los ofrecidos por el comercio minorista. El programa permitió el repaso de los recursos del Gobierno Federal a estados, municipios y escuelas federales, en carácter suplementario, para

atención de 200 días lectivos, siendo el rubro repasado de acuerdo con el número de matriculados en cada red de enseñanza. Para que las escuelas públicas pudieran acceder al beneficio, además del registro, se estableció la necesidad de presentar el menú elaborado por un nutricionista, de las comidas a ser ofrecidas para los alumnos. Siendo que el menú debería respetar los hábitos alimentarios locales y las necesidades nutricionales específicas, conforme porcentuales mínimos establecidos en el artículo 14 de la Resolución 26/2013 [23].

Otro programa de impacto fue el de Adquisición de Alimentos (PAA), creado en 2003, que tuvo por finalidad favorecer el acceso de las instituciones públicas, como hospitales y presidios, a alimentos saludables producidos por la agricultura familiar, adquiridos directamente de los establecimientos rurales o de sus organizaciones. De la misma forma que el PNAE, el programa tuvo por objetivo estimular la agregación de valor a la producción de la agricultura familiar y generar alternativas de comercialización [21].

Por medio del Programa Nacional de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar (PRONAF) el Gobierno Federal ofreció crédito rural para financiamiento de proyectos agropecuarios y agroindustriales diversos, orientados a fortalecer la producción familiar con renta bruta anual de hasta R \$ 360 mil por año (aproximadamente 100 mil dólares) [21]. Las líneas de crédito tuvieron por objetivo financiar desde el costeo de las cosechas hasta las inversiones en máquinas, equipamientos e infraestructura para agroindustria de base de la agricultura familiar. Los intereses practicados, carencias, plazos de amortización y techo de financiamiento del PRONAF varían de acuerdo con la modalidad accedida y la política financiera del Gobierno Federal de la época. Algunas modalidades, por ejemplo, fueron establecidas para estimular la producción de alimentos de la cesta básica de los brasileños como leche, arroz, frijoles, mandioca, maíz y trigo, siendo destinado mayor valor de crédito rural a las unidades de producción familiar que se dedicaron a estos cultivos (Pronaf Alimentos). Otras, de cuño social, tienen por finalidad el aumento de la renta familiar por medio de empoderamiento y protagonismo de las mujeres en el medio rural, como es el caso del PRONAF Mujer, que destina crédito rural especial para proyectos de agricultoras familiares, o el PRONAF Joven, que destina crédito rural para proyectos agrícolas / agroindustriales de jóvenes rurales de la agricultura familiar entre 16 a 25 años, desde que hayan concluido o estén cursando el último año en escuelas técnicas agrícolas de nivel medio

o superior. Además de las líneas de crédito rural para fomentar el desarrollo sectorial como el PRONAF Agroindustria, desarrollo regional como PRONAF Semi-Árido y el PRONAF Forestal, destinado al financiamiento de proyectos de silvicultura y sistemas agroforestales y explotación extractiva sostenible [22].

V. Portafolio Passiflora

La cartera pasifloras surgió de la necesidad de agrupar en una misma base de discusión los proyectos en el tema Passiflora, optimizar recursos de investigación y agilizar la generación tecnológica para introducir nuevas especies de la biodiversidad brasileña en el mercado. La acción fue hecha por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), institución pública de investigación vinculada al Ministerio de Agricultura Pecuaria y Abastecimiento, responsable por la generación de informaciones y tecnologías para dar permiso al agro negocio brasileño. La cartera, coordinada por Embrapa, agrega la mayoría de los proyectos en el tema pasiflora conducidos en Brasil en las áreas de recurso genético, mejoramiento genético, conocimiento agronómico, químico, funcional, aprovechamiento total de la planta (ramas, hojas y frutos), seguridad de consumo y eficacia biológica para uso alimentario, cosmético y medicinal. Comprende tres redes de investigación también coordinadas por la Embrapa que establecen los ejes principales del portafolio, siendo ellos: Mejoramiento Genético del Maracuyá (Embrapa Cerrados), Passitec red "Desarrollo tecnológico para el uso funcional y medicinal de la pasifloras salvajes" (Embrapa Cerrado) y el Arreglo Productivo Local - maracuyá (APL maracuyá) (Embrapa Alimentos) y proyectos puntuales elaborados para complementar conocimientos específicos necesarios para la consolidación de las nuevas cadenas de pasifloras, no previstas en el contexto de las redes.

En la actualidad, el portafolio cuenta con la colaboración de más de 50 instituciones, entre unidades de Embrapa, universidades, institutos de investigación, empresas de asistencia técnica rural, asociaciones, cooperativas y sindicato de productores rurales, empresas públicas y privadas, entre otras, además de contar con el apoyo de movimientos sociales del campo, ayuntamientos y secretarías de gobierno. La estrategia de desarrollo del conocimiento y de la innovación sigue la organización adoptada por la Red Passitec. El comité de gestión comprende las representaciones de los frentes 1. Recursos Genéticos y Mejoramiento; 2. Desarrollo Agrícola; 3.

Post-cosecha. 4. Procesos y productos; 5. Seguridad y eficacia; 6. Organización productiva y mercado.

Los resultados de los trabajos conjuntos vienen permitiendo la rápida generación de conocimientos y estructuración productiva, conforme reconocido por el premio Celso Furtado, concedido por el Ministerio de Integración Nacional a finales de 2017, en reconocimiento a los esfuerzos para la estructuración de la cadena de producción del BRS Pérola del Cerrado en el DF y alrededor [13].

VI. La Red Passitec y metodología para el desarrollo tecnológico integrado con la cadena de producción

La red Passitec es una organización informal establecida como un grupo de investigación en el CNPq (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones), compuesta por las unidades de investigación de Embrapa, universidad, empresas de extensión rural, cooperativas, asociaciones y productores, instituciones públicas y privadas. Se creó con la finalidad de generar conocimientos y tecnologías integradas para el uso funcional, medicinal y cosmético de las especies de pasiflora, con énfasis en la organización productiva y estructuración de mercados, y está estructurada en frentes de investigación siendo ellas: 1. Conocimiento biológico (servicios ambientales, fenología, expresión génica, cultivo in vitro, etc.); 2. Conocimiento agronómico (germinación, plántulas, fertilización conducción de la planta al campo, cosecha); 3. Post-cosecha (aumento de la vida útil del fruto); 4. Procesamiento y productos (uso de la planta y partes del fruto); 5. Información para el etiquetado y la valoración; 6. Organización productiva y mercado. La red agrega más de 150 colaboradores de diferentes áreas de conocimiento, comprendiendo investigadores, profesores, técnicos, estudiantes y productores rurales, distribuidos en 32 instituciones.

La estrategia de acción adoptada por la red se basó en la observación de que no bastaba el conocimiento de los beneficios de una determinada planta para que el mercado se estructurara, era necesario, también, generar informaciones y apoyar la estructuración de los eslabones productivos, producto final para llegase al consumidor. Por lo tanto, además de la generación de conocimientos, hay la necesidad de la adopción tecnológica y coordinación de la logística de colocación del nuevo producto en el mercado, exigiendo la integración de esfuerzos de investigación, extensión rural, eslabones productivos y apoyo de políticas públicas.

Para superar el desafío de la generación tecnológica conjunta, la red estableció la metodología general para hacer la inserción de especies desconocidas del mercado en la cadena de producción:

A. Identificación y llenado de las islas del conocimiento necesarias para la estructuración productiva.

En esta etapa se generan las informaciones pre-tecnológicas y se desarrollan las tecnologías por medio de la investigación a escala de laboratorio, con el propósito de evaluar el potencial de éxito de adopción tecnológica y de aceptación de mercado, de suerte a disminuir los riesgos de la inversión por parte del sector productivo. El proceso comprende las etapas de:

- Elección de la especie de la biodiversidad a ser priorizada para la inserción en el mercado. Puede ser definida por los criterios: (a) Énfasis en el fortalecimiento de cadenas explotadas por comunidades rurales de forma incipientes. (b) Énfasis en la especie cuando existe algún indicativo de potencial de uso dado por informaciones de investigaciones previas, uso popular, etc.
- Identificación y relleno de las áreas de conocimiento necesarias para la estructuración productiva: a) informaciones biológicas, tales como servicios ambientales, conocimiento reproductivo y de expresión génica necesarias para subsidiar el desarrollo de las técnicas para el cultivo, cosecha y almacenamiento, zonificación para la producción, etc.; b) conocimiento agronómico tales como método de germinación, fertilización, conducción, necesidad hídrica, comportamiento productivo en diferentes regiones, estabilidad de la propiedad biológica deseada en función de las condiciones de cultivo y región. c) Post-cosecha: punto de cosecha, envases y condiciones de almacenamiento, transporte y comercialización para la mayor durabilidad y estabilidad de la propiedad de interés del producto. d) Desarrollo de ingredientes, productos y aprovechamiento de subproductos generados del procesamiento del material genético (comprendiendo: seguridad de consumo, aceptación, vida de almacenamiento, etc.). e) Generación de conocimientos específicos según el tipo de uso del material (por ejemplo, conocimiento químico, estabilidad de la propiedad biológica o de los bio activos a lo largo del procesamiento y almacenamiento, nivel de ingesta para obtener la propiedad benéfica deseada, validación del efecto biológico productos que deben

comercializarse, información para el etiquetado, etc.). f) Estudios socioeconómicos y ambientales y de mercado (por ejemplo, caracterización de la comunidad antes de la inserción de la tecnología, impactos potenciales, establecimiento del plan de negocio para la colocación de las tecnologías de forma coordinada en el ambiente productivo, etc.).

B. Desarrollo tecnológico en conjunto con el sector productivo

Hay como base las informaciones generadas en la etapa 1, con selección de las tecnologías que presenten mayor potencial para llegar al mercado. La etapa tiene por objetivo el perfeccionamiento de la información / tecnología para sumar la experiencia del sector productivo y la realidad local. En la segunda etapa se realiza la apropiación tecnológica por parte de los eslabones productivos:

- Identificación de los colaboradores / comunidades en el ambiente productivo con interés en contribuir en el desarrollo de las tecnologías necesarias para la estructuración productiva.
- Ajustes tecnológicos en conjunto con las comunidades, con el apoyo de los grupos de investigación de las áreas correspondientes, considerando las cuestiones de propiedad intelectual de todos los involucrados.
- Entrenamiento y capacitación de los colaboradores internos y externos.
- Registro de las tecnologías generadas de acuerdo con los criterios de propiedad intelectual establecidos en el plan de negocio y caso por caso.

C. Estructuración de los eslabones productivos y del mercado.

En esta fase se organiza el inicio de la estructuración de la producción de la nueva especie y se conecta a los eslabones productivos de forma que el producto llegue al consumidor final. También, tiene por meta la popularización de los productos / tecnologías junto al mercado consumidor de manera que en el paso que el producto llegue al mercado, el consumidor ya tenga interés en adquirirlo.

En la tercera etapa se realiza:

- Divulgación de las oportunidades tecnológicas para el medio ambiente exterior, por intermedio de encuentros (gira de campo, ferias, congresos, etc.), redes sociales y medios (espontánea o convencional).
- Análisis de la capacidad de aplicación tecnológica de los interesados y potencialidad de estructuración de los eslabones productivos con miras a la formación de polos productores y empleo de la logística de colocación en el mercado, estímulo a la organización social, por intermedio de la animación del proceso para la formación de asociaciones, cooperativas o la inclusión de los productores en segmentos ya organizados.
- Popularización de los productos de comercialización junto a los eslabones productivos y consumidor final. En esta etapa, también se realizan acciones de investigación para evaluar el impacto de la tecnología y para orientar la inserción de los nuevos productos en el mercado en conjunto con las comunidades.

D. Cronología

La estrategia para favorecer el proceso de estructuración productiva sigue la cronología:

- Antes del lanzamiento del cultivar se realiza el desarrollo tecnológico conjunto con el sector productivo para la producción de plántulas/ semillas; el entrenamiento de los multiplicadores de la tecnología; los ajustes tecnológicos dirigidos a la producción del fruto junto con el productor rural de las unidades de referencia; elaboración del material técnico para orientar la cadena de producción.
- con ocasión del lanzamiento de la nueva cultivar, se recomienda disponer de la información técnica para la producción; la visita de las áreas de productores que realizaron ajustes tecnológicos en conjunto con el equipo del proyecto. En la ocasión los multiplicadores de la asistencia técnica rural deben estar capacitados para la conducción del nuevo cultivo; los productores de plántulas y semillas deben disponer de productos para su comercialización para los agricultores; y la distribución de plántulas para las comunidades de riesgo, que a su vez ya deben haber sido capacitadas por la extensión rural.
- Después del lanzamiento y 4 meses antes del inicio de la producción de la primera cosecha: estimar el área plantada con el nuevo material

y potencial de la cosecha para sintonizar la forma de flujo a la producción. Se recomienda que el trabajo se realice en conjunto con las asociaciones y cooperativas de la región productora.

- Dos meses antes del inicio de la primera cosecha, iniciar los trabajos de popularización del fruto y de la investigación entre los consumidores y los eslabones productivos, utilizando frutos de las unidades de producción de referencia. Capacitar a los productores rurales y comerciantes para la divulgación del fruto en el establecimiento comercial.
- Al inicio de la cosecha: iniciar la comercialización con degustación del producto en los establecimientos comerciales, con distribución de folletos que contengan orientaciones relativas a las propiedades beneficiosas del producto, orientaciones para el consumo y características de la producción.
- Seguimiento post venta de la percepción del consumidor frente al nuevo producto, análisis econométrico, identificación de nuevos puntos de alineamiento para ajustes tecnológicos de la investigación.

VII. Aplicación de la metodología y estructuración productiva - el caso del maracuyá pérola

La aplicación de la metodología por la Red Passitec y el acceso a las políticas públicas por la agricultura familiar permitió la rápida estructuración productiva de la primera variedad comercial de la especie *Passiflora setacea* el BRS-PC (maracuyá pérola), lanzada en mayo de 2013 por las redes de Mejoramiento Genético y Passitec.

Después de cinco años del lanzamiento, la maracuyá pérola, que hasta entonces era desconocida de los centros urbanos, ya puede ser encontrada en el mercado minorista de diversos establecimientos comerciales del mercado del DF, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, entre otros, y exportado a Escocia por los productores del DF. Actualmente, el fruto es el principal producto de comercialización de los beneficiados de la reforma agraria Oziel Aves III (Pipiripau-DF), de varias familias productoras del DF y región circundante [13] COSTA et al., 2017) y de otras regiones del país, como la de la región de Franca (SP) y del Norte Fluminense (RJ).

Passitec generó información y orientaciones técnicas para la producción de plántulas [24; 25; 26], en asociación con la iniciativa privada (viveros

Flora Brasil - MG y Tropical-DF), que ayudaron en el desarrollo y después en la popularización y comercialización de la tecnología.

También generó conocimientos de los polinizadores (que en el caso del maracuyá pérola son los murciélagos) y de la fenología [27]. En el contexto del proyecto se incentivó el mantenimiento de las matas nativas, el cultivo en agro forestaría, consorcios con especie que permita el barbecho y mantenimiento de los polinizadores. La información transferida para los productores viene concienciando a la población de la importancia de los llamados "servicios ambientales" y del cultivo agroecológico.

La determinación de las necesidades nutricionales de la planta permitió el ajuste de los cultivos para la producción con bajo uso de insumos y lo incentivó la producción orgánica. Se generaron informaciones agronómicas como preparación de surcos, espaciamiento, plagas y enfermedades, conducción y manejo en diferentes sistemas de cultivo (convencional y orgánico y consorciado) [28; 29; 30]. También se generó información para la recolección de los frutos [31; 32], su almacenamiento [33; 34], ingredientes y productos elaborados con la pulpa, partes de los frutos y hojas [35] PINELI, et. al. 2014). Y generadas informaciones para orientar el etiquetado y la producción hacia la obtención de alimentos con mayor calidad nutricional/ funcional y medicinal [32; 36; 37; 38;39; 40; 41; 42, 43].

Se realizaron estudios de aceptación de los productos con el fin de ajustar las tecnologías y evaluar el potencial de mercado [44; 45] y realizados eventos de popularización y de capacitación para la divulgación de las tecnologías junto a los eslabones productivos del DF, SP, RJ, BA (giras en campo de producción, las capacidades y la popularización de la fruta y la pulpa) e inserciones divulgadas en los medios espontáneos (periódicos, radio y prensa web) entre otras acciones.

La acción contó con el apoyo de los productores y productoras rurales, asociaciones, cooperativas y ayuntamientos municipales de diferentes regiones brasileñas, así como de las organizaciones SlowFood, WWF, CO2Zero, además de las asociaciones con las redes Priopardo (Norte de Minas) e APL-Maracujá para la organización productiva en el Norte Fluminense (Espírito Santo e Rio de Janeiro) de la cartera Pasiflora.

En total, la red Passitec generó más de 200 publicaciones, entre comunicados en evento, folletos, publicaciones técnicas, tesis y trabajos científicos, y más de 40 tecnologías orientadas al aprovechamiento integral de la planta,

incluyendo informaciones de seguridad, condiciones de almacenamiento, calidad nutricional y propiedades funcionales / medicinales y cosméticas para orientar el etiquetado y registro de los productos [13].

El inicio de la estructuración productiva del maracuyá pérola en el DF fue reforzado con distribución de 2 mil mudas para la agricultura familiar del país, DF y región cercana, donadas por la red Passitec en colaboración con el Vivero Tropical. La acción fue realizada en el segundo semestre de 2014 y contempló, especialmente, a las familias atendidas por la política pública del programa FOME CERO, residentes del asentamiento Oziel Alves III (DF). La acción capacitó a más de 80 familias del DF y alrededores (condición necesaria para la recepción de las plántulas).

Los cultivos fueron acompañados por los líderes de la red Passitec y Emater-DF, por medio de visitas técnicas, capacitación de multiplicadores y contactos virtuales.

Antes del inicio de la cosecha, la red impartió acciones para promocionar la estructuración productiva. Para ello contó con el apoyo del Sindicato de los Productores Rurales de la región del Planaltina de Goiás, Cooperativa de los Productores Rurales de la Lagoa Formosa (COOPÉROLAG), Servicio Brasileño de Apoyo a las Micro y Pequeñas Empresas (SEBRAE), Empresa de Asistencia Técnica y Extensión Rural (EMATER) de DF y Goiás (GO) y las Centrales Estaduales de Abastecimiento (CEASA) del DF. La suma de los esfuerzos contribuyó a la creación de dos asociaciones de productores rurales en DF: Productores de Maracuyá del Distrito Federal y Región (APROFAMA) y la Asociación de Productores Agroecológicos del Alto São Bartolomeu (APROSPERA), y la apertura de canales de comercialización de frutos en CEASA (DF) en el Galpón de la Agricultura Familiar, Red Hortifrutí OBA, Red Santa Felicidade, entre otras. Con el apoyo de las cooperativas y secretarías de educación, y programas como el PAA y PNAE, Actualmente la pulpa de maracuyá está inserta en la merienda escolar de Planaltina de Goiás (GO) y en el Norte de Minas Gerais.

El éxito productivo y financiero alcanzado por las familias del DF y alrededores con la producción de la maracuyá pérola motivó la organización de nuevos polos de producción por medio de estrategias semejantes. La replicación de la etapa de estructuración productiva en otras regiones del país resultó en la formación del polo productor de maracuyá pérola en Franca (SP), (a petición de la Coordinadora de Asistencia Técnica Integral - CATI) e cooperativas locales), Rio de Janeiro (Con el apoyo de la Red APL

Maracujá-RJ), Norte de Minas (Con el apoyo de la Red Priopardo), Goiânia entre otras. Se realizaron acciones para la capacitación de agentes multiplicadores locales, la formación de unidades de referencia, la distribución de semillas / mudas, apoyo para la organización de viveros, Gira del Campo para popularizar el cultivo y acciones para la apertura de mercado. Como resultado de los trabajos, gradualmente el maracuyá pérola se puede encontrar en mercados de diferentes regiones brasileñas e incluso en pequeñas ferias en Escocia (UK). La pulpa se convirtió en una sensación junto a los chefs de restaurantes gourmet de diferentes regiones del país y el helado ya se puede encontrárselo en el comercio de DF [13].

Actualmente, el fruto es el principal producto de comercialización de la asociación campesina Oziel Aves III y de diversos productores de diferentes regiones del país, según los estudios conducidos por la red Passitec y EMATER-DF.

La experiencia de éxito viene revirtiendo no sólo en la mejora de la calidad de vida de la agricultura familiar y asentados, sino también ha contribuido a que la población urbana tenga acceso a los alimentos de la biodiversidad brasileña caracterizados como sus propiedades nutricionales y beneficios para la salud.

Referencias

- [1] Zacharias, A. O.; Zacaroni, A. B.; Borges, A. L.; Costa, A. M.; Vaz, A. P. A.; Alvaranga, A. L. B.; Sussel, A. A. B.; Oliveira, C. M. De; Scaranari, C.; Machado, C. De F.; Nascimento, D. T. Do; Neves, D. M. Das; Barbosa, D. H. S. G.; Oliveira, E. J. De; Girardi, E. A.; Faleiro, F. G.; Cardoso, F. C. De P.; Neto, F. C. C.; Araújo, F. P. De; Gontijo, G. M.; Lima, H. C. De; Junqueira, K. P.; Celestino, K. R. S.; Souza, L. D.; Junqueira, L. P.; Souza, L. da S.; Coleção 500 perguntas 500 respostas Maracujá. Embrapa 2016.
- [2] Ferreira, F. R. Recursos Genéticos de *Passiflora*. In: Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V.; Braga, M. F. (Eds). Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. p. 41-51.I.
- [3] Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V.; Fávero, A. P.; Lopes, M. A. Pré-melhoramento de Plantas: experiências de sucesso. In: Faleiro, f. G.; farias neto, a. L.; Ribeiro Junior, W. Q. (Eds). Pré-melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 45-62.
- [4] Esashika, D.A..S; Fenologia e morfometria de flores e frutos de espécies e híbridos de *Passiflora* spp. visando ao melhoramento genético, Dissertação Doutorado em Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fa-

- culdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília DF. p.125. 2018.
- [5] Cunha, M.A.P.; Barbosa, L.V.; Junqueira, N.T.V. Espécies de maracujazeiro. In: Lima, A.A. (Ed.). Maracujá Produção: Aspectos Técnicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 104p. (Frutas do Brasil; 15).
- [6] Dhawan, K.; Dhawan S.; Sharma, A. Passiflora: a review update. *Journal of Ethnopharmacology*, 2004; 94: 1-23.
- [7] Costa, A. M.; Tupinambá, D. D. O maracujá e suas propriedades medicinais – estado da arte. In: Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V.; Braga, M. F. (Eds.) Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p. 475-506.
- [8] Costa, A.M. Propriedade das passifloras como medicamento e alimento funcional. In Maracujá do cultivo à comercialização. JUNGHANS, T.G.; JESUS O.N. Maracujá do cultivo à comercialização. Embrapa; cap..13, p.p.299-318. 2017.
- [9] Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V.; Jesus, O.N. Costa, A.M.; Machado, C.F. Junqueira, K.P.A. Junghans, T.G. Espécies de maracujazeiro no mercado internacional. In: Junghans T.G. Jesus O.N. eds., Maracujá do cultivo à comercialização. Embrapa; Embrapa; cap..2, p.p.15 -37. 2017.
- [10] Souza, J.S.; Gerum, A.F.A.A.. Aspectos econômicos da produção e maracujá no Brasil. In: JUNGHANS T.G. JESUS O.N. eds., Maracujá do cultivo à comercialização. Cap. 1. pp. 9-14, 2017
- [11] Embrapa Cerrados. Lançamento BRS Mel do Cerrado BRS MC. Cultivar de maracujazeiro-doce (*Passiflora alta* Curtis). Folder técnico. 2p. 1 impressão 2017.
- [12] Embrapa Cerrados. Cultivar de maracujazeiro silvestre com quádrupla aptidão: consumo in natura, processamento industrial, ornamental e funcional (BRS PC). Folder técnico. 2p. 8 impressão 2016.
- [13] Costa, A.M; Faleiro, F.G.; Gontijo, G.M.; Cabral, F.C.P.K Geração tecnológica integrada para uso sustentável da biodiversidade: maracujá pérola. In Brasil. Ministério da Integração Nacional. Prêmio Celso Furtado de Desenvolvimento Regional 4ª Edição: Homenagem a Milton Santos. Categoria II Práticas Exitosas de Produção e Gestão Institucional, p. 82-88. 2017.
- [14] MOREIRA, J. M. M. A. P.; TEIXEIRA, L. P.; SOUSA, T. C. R. de. Desempenho agrônomo e análise econômico-financeira do maracujá BRS Gigante Amarelo no Distrito Federal. In: GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. (Ed.). Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 151-211.
- [15] HORTIFRUTI. Avanços no cultivo de maracujá no Brasil. Campo & Negócios Hortifrúti, fevereiro, 2015. Consultado em 03 de maio de 2018. <http://www.revistacampoenegocios.com.br/avancos-no-cultivo-de-maracuja-no-brasil/>

- [16] CASA CIVIL (1) Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, O que é a agricultura familiar <http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar>.
- [17] IBGE. Censo Agropecuário 2006 - agricultura familiar. Rio de Janeiro: IBGE. 2009
- [18] FRANÇA, C.G.; DEL GROSSI, M.E.; MARQUES, V.P.M.A. O Censo Agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil. Brasília: NEAD/MDA, 2009.
- [19] MATTOS, L. Decisões sobre usos da terra e dos recursos naturais na agricultura familiar amazônica: o caso do Proambiente. 458p. Tese (Doutorado). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2010.
- [20] KAMIMURA, A.; OLIVEIRA, A.; BURANI, G.F. A agricultura familiar no Brasil: um retrato do desequilíbrio regional. INTERAÇÕES, Campo Grande, v. 11, n. 2, p. 217-223. 2010
- [21] CASA CIVIL (2), Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, Modalidades do PAA (Apoio à Formação de Estoques pela Agricultura Familiar e a Compra Direta da Agricultura Familiar). <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-paa/modalidades-do-paa> . Acessado em maio de 2018.
- [22] CASA CIVIL (3), Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, Manual de Crédito Rural – MCR e Tabela com condições do Pronaf 2014/2015. Em <http://www.mda.gov.br/sitemda/pronaf>, acesso em maio de 2018
- [23] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Em: <http://www.fnde.gov.br/programas/pnae>. Acessado em maio de 2018.
- [24] GARROS, R.N.; GOMES, J.G.; BRITO, G.Q.; ANTONINI, J.C.A.; COSTA, A.M. Porcentagem de germinação e número de dias para a emergência de sementes da cultivar Pérola do Cerrado em relação a época de semeadura. In: Jovens Talentos 2014 - Embrapa Cerrados, 2014, Brasília. Jovens Talentos 2014 - resumos 2014. Brasília: Embrapa Cerrados, 2014. p. 94-94. (http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2014/doc/doc_322.pdf)
- [25] COSTA, A.M.; LIMA, H.C.; CARDOSO, E.R.; SILVA, J.R.; PÁDUA, J. G.; FALEIRO, F.G.; PEREIRA, R.C.A.; CAMPOS, G.A.. Produção de Mudas de Maracujazeiro Silvestre (*Passiflora setacea*). Comunicado Técnico 176. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2015. 5p. ISSN online 2176-5073.
- [26] COSTA, A.M.; MORAES, K.L.; FONSECA, S.R.B.; CARVALHO, R.V.; MALAQUISAS, J.V.. Germinação de sementes armazenadas de *Passiflora setacea* BRS PC. In: XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2016, São Luiz - MA. XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura: Fruteiras Nativas e Sustentabilidade. São Paulo: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2016. http://tmeventos.com.br/frut2016/trabalhos/trab/trabalho_1814.pdf

- [27] SILVA, C. N.; FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V; COSTA, A. M.; ARAUJO, F.P. Aspectos relativos à fenologia das cultivares de maracujás silvestre BRS Maracujá Maçã, BRS Maracuyá pérola do Cerrado e BRS Sertão Forte. In: Simpósio de Melhoramento Genético, 2016, Brasília, Distrito Federal. Simpósio Melhoramento de Plantas (2016: Brasília, DF). Variabilidade genética, ferramentas e mercado: anais / Simpósio Melhoramento de Plantas da Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, Regional Distrito Federal. Brasília, Distrito Federal: Embrapa, 2016. p. 64. (<https://www.embrapa.br/cerrados/simposio-melhoramento>).
- [28] GUIMARÃES, T.G.; DIANESE, A. de C.; OLIVEIRA, C.M. de; MADALENA, J.O. de M.; FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V; LIMA, H.C. de; CAMPOS, G.A. Recomendações técnicas para o cultivo de *Passiflora setacea* cv. BRS Pérola do Cerrado. Comunicado Técnico 174. Embrapa Cerrados, 2013.6p.
- [29] COSTA, A.M.; MORAIS, K.L. ; SANTOS, F. E.. Influência do tipo de condução na produção do maracujá silvestre brs pérola do cerrado (*Passiflora setacea*). In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2014, Cuiabá. Congresso brasileiro de fruticultura, 2014a.
- [30] IBIAPINA, M.D.P.F. Adubação potássica na qualidade e nas propriedades antioxidantes de polpa e de folhas de *Passiflora setacea*. Dissertação de Mestrado em. Agronomia. 112-2016. 2016. 65.p
- [31] LIMA, H. C. de; SOUZA, L. do C. G. de; COSTA, A. M.; RINALDI, M. M.; FALEIRO, F. G. Padrão de crescimento e maturidade em frutos de maracujazeiro *Passiflora setacea*, cv. BRS PC. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL, 61., 2015, Manaus. Anais... Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 98. (<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1029993/1/AnaisISTHnov2015.pdf>)
- [32] Bomtempo,LL; Costa,A.M.; Lima, H.C.; Engeseth, N.; Glória, M.B.A. . Bioactive amines in *Passiflora* are affected by species and fruit development. Food Research International, p. 733-738, 2016.
- [33] RINALDI, M.M.; LIMA, H.C.; COSTA, A.M. ; FALEIRO, G.F. ; JUNQUEIRA, N. T.V.. Vida útil de frutos de maracuyá pérola do Cerrado submetidos a diferentes sanitizantes e temperaturas. In: 61a. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL, 2015, Manaus. 61a. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL. Manaus: Embrapa, 2015.p.112-112.<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1029993/1/AnaisISTHnov2015.pdf>
- [34] ASSIS, D.F.O. ; RINALDI, M. M. ; Costa, A. M. ; FALEIRO, Fábio Gelape ; JUNQUEIRA, Nilton T V ; Oliveira, T. A. R. . Vida útil de frutos de *Passiflora setacea*, *Passiflora alata* e *Passiflora tenuiflora* submetidos a diferentes tratamentos. In: Jovens Talentos, 2016, Brasília, Distrito Federal, Br. Jovens Talentos 2016, 2016. p. 1-1. (<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1057010/jovens-talentos-2016-resumos>)
- [35] PINELI, L.L.O.; RODRIGUES, J.S.Q.; COSTA, A. M.; LIMA, H.C.; CHIARELLO, M. M.D. Antioxidants and sensory properties of the infusions of wild *passiflora*

- from Brazilian savannah: potential as functional beverages.. Journal of the Science of Food and Agriculture (Online), v.1, p. 1002-1012, 2014.
- [36] COSTA, A.M.; CELESTINO, S.M.C.; MORAIS, K.L. Influência do tipo de condução na qualidade físico-química da polpa do BRS pérola do cerrado (*Passiflora setacea*). In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2014, Cuiabá. Congresso Brasileiro de Fruticultura. Cuiabá: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2014b. p. 1-5.
- [37] GADIOLI, I.L.; BRITO, E.S.; PINELI, L.L.O.; COSTA, A.M. Phenolic compounds profile of Brazilian wild passifloras leaves. In: 7th ICPH - International conference on polyphenols and health, 2015, Tours - França. 7th ICPH - International conference on polyphenols and health. Clermont Ferrant - França: INRA - Clermont Ferrant, 2015. v. 1. p. 296-296. http://www.icph2015.com/images/ABSTRACT_BOOK_LD.pdf
- [38] GADIOLI, I.L.; CUNHA, M.S.B.; CARVALHO, M.V.O.; COSTA, A.M.; PINELI, L.L.O.. A systematic review on phenolic compounds in *Passiflora* plants: Exploring biodiversity for food, nutrition, and popular medicine. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 19, p. 00-00, 2016.
- [39] SANTANA, F.C.; SILVA, A.M.O.; SHINAGAWA, F.B.; OLIVEIRA, L.R.; COSTA, A.M.; MANCINI-FILHO, J. Influence of bioactive compounds in wild passion fruit seeds on biochemical parameters and liver oxidative stress in high fa-fed mice. In: IFT15, 2015. IFT15, 2015.
- [40] DUARTE, I.A.E.; BORGES, T.K.; FRIANCA, L.; RAMOS, B.; LEITE, L.; CORAZZA, D.; PINELI, L.L.O.; MUNIZ-JUNQUEIRA, M.I.; COSTA, A.M. Effect of acute consumption of *Passiflora setacea* juice on the phagocytic capacity and production of free radicals by monocytes in overweight individuals. In: 7th International Conference on Polyphenols and Health, 2015, Tours - France. 7th International Conference on Polyphenols and Health. Clermont Ferrand - France: INRA - Clermont Ferrand, 2015.a p. 195-195. http://www.icph2015.com/images/ABSTRACT_BOOK_LD.pdf
- [41] DUARTE, I.A.E.; MORAND, C.; MILENKOVIC, D.; MONFOULET, L.; PINELI, L. L. O.; COSTA, A.M.. Effect of acute consumption *Passiflora setacea* juice on the monocyte adhesion to endothelial cells: a validation ex vivo study. In: 7th International conference on polyphenols and health, 2015b, Tours - França. 7th International conference on polyphenols and health. Clermont Ferrand - France: INRA-Clermont Ferrand, 2015. v. 1. p. 195-195. http://www.icph2015.com/images/ABSTRACT_BOOK_LD.pdf
- [42] VIANA, M.L. COSTA, A. M.; CELESTINO, S.M.C. Informações para a composição de tabela nutricional da polpa do maracujá BRS Pérola do Cerrado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 335. 19p. Embrapa Cerrados. 2016.
- [43] VIANA, M.L.; COSTA, A.M.; CELESTINO, S.C. Composição nutricional da polpa do maracujá BRS pérola do cerrado. In 11º SLACA – Simpósio Latino americano de ciência de alimentos, 8 a 11/novembro/2015. Campinas – SP. Anais: 11 SLACA - Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos: Ciência

- de Alimentos: Qualidade de Vida e Envelhecimento Saudável, SBCTA, 2015. P.1-1. <https://proceedings.galoa.com.br/slaca/slaca-2015/trabalhos/composicao-nutricional-da-polpa-do-maracuja-brs-perola-do-cerrado>. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G. T. Radó and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [44] CARVALHO, M.; PINELI, L.; CELESTINO, I.; FREITAS, I. SODRE, M.; COSTA, A.M.. Phytochemical and sensory quality of *Passiflora setacea* pulp processed with seeds. In 30 th EFFoST International Conference. Annals Phytochemical and sensory quality of *Passiflora setacea* pulp processed with seeds. In 30 th EFFoST International Conference Targeted Technologies for Sustainable Food Systems. Elsevier, Viena, 2016b, p.1-1.
- [45] CARVALHO, M.V.O.; PINELI, L.L.O. ; NEVES, M. ; COSTA, A.M.. Aceitabilidade de frutos de *Passiflora setacea* para o consumo in natura. Congresso Brasileiro de Fruticultura.. In: XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2016, São Luiz - MA. XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura: ruteiras Nativas e Sustentabilidade. São Paulo: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2016a. (http://tmeventos.com.br/frut2016/trabalhos/trab/trabalho_1815.pdf)



AGROSCADA, IOT para el sector agropecuario y agroindustrial de Colombia aplicado en un proceso de secado e inmunización de Guadua

Sistema de Supervisión y Control Agropecuario

- **Didier Restrepo Bravo**
- Ingeniero en Automática, I+D+i
- INTEREDES SAS
- Neiva, Colombia
- didier.restrepo@interedes.com.co
- didier.restrepob@corhuila.edu.co

Resumen — la IOT(Internet de las cosas) es una megatendencia global que permite el uso de tecnologías de internet, para la interconexión de objetos cotidianos, lo que potencializa y agiliza el uso de información para la toma de decisiones inteligentes en todos los sectores productivos. En el sector agropecuario y agroindustrial Colombiano, está la oportunidad de utilizar esta tecnología para mejorar la productividad y calidad de los procesos y productos, pero de forma limpia y sostenible reduciendo el desperdicio, haciendo un uso eficiente del agua, optimizando insumos y tratamientos, entre otros aspectos. El presente proyecto presenta los resultados de un desarrollo IOT, aplicado al control y supervisión de procesos propios de nuestra región, buscando mejorar su productividad y reducir costos, mediante el uso eficiente de la energía, esto validado específicamente en un proceso agroindustrial de inmunizado y secado de guadua.

Abstract — IOT (Internet of Things) is a global mega-responsibility that allows the use of internet technologies, for the interconnection of everyday objects, which enhances and speeds up the use of information for intelligent decision making in all productive sectors. In the Colombian agricultural and agro-industrial sector, there is the opportunity to use this technology to improve the productivity and quality of processes and products, but in a clean and sustainable way reducing waste, making efficient use of water, optimizing inputs and treatments, among other aspects This project presents the results of an IOT development, applied to the control and supervision of our region's own processes, seeking to improve its productivity and reduce costs, through the efficient use of energy, specifically validated in an agro-industrial process of immunized and dried guadua (*Guadua angustifolia*).

Palabras Claves —IOT, agromática, control, supervisión, sensores.

I. Introducción

El sector agrícola y pecuario de Colombia se pueden realizar procesos de control básicos, aplicando sensores y sistemas IOT, en las etapas de pos-cosecha, para mejorar los procesos de producción, facilitando el monitoreo y control de variables propias de estos sistemas como temperatura, humedad, oxígeno, entre otras, presentes en sistemas de producción pecuarios como también en sistemas ambientales.[1]

El dispositivo y sistema AGROSCADA pretende mejorar las condiciones de vida del sector agropecuario y ambiental aportando a cerrar la brecha tecnológica en Colombia en el uso de tecnologías IOT, a través del monitoreo, control y acceso a información pertinente de los procesos en etapas de pos-cosecha de los procesos de producción agropecuaria y agroindustrial, en variables como temperatura, humedad, ph, oxígeno, entre otras.

Se presenta a continuación el resultado de implementar este sistema aplicado a mejorar la calidad y reducción de costos del proceso de inmunizado y secado de la guadua.

II. AGROSCADA

Para entender como se puede aplicar IOT en los procesos agropecuarios y agroindustriales de Colombia, se describe a continuación la experiencia con el desarrollo y aplicación en un proceso específico, del dispositivo AGROSCADA (Sistema de Supervisión y Control Agropecuario) el cual es el elemento más importante dentro del lazo de control, este dispositivo ha sido presentado para patente ante la superintendencia de industria y comercio de Colombia, también tiene un registro de marca desde el 2017.

El dispositivo brinda una interfaz sencilla que permite al usuario ejercer control sobre las diferentes variables, las cuales se configuran mediante una pantalla táctil en una interfaz realizada en Android, mostrada en la

figura 2, que despliega las funciones principales del sistema y permiten el control o ajuste pertinente al proceso productivo; cuenta con la posibilidad de incorporar tecnología analógica y digital mediante puertos USB/Serial, RS232, RS485, lo que permite el acondicionamiento de diversos sensores industriales, además, su diseño modular brinda la opción de escalabilidad del sistema a modificaciones requeridas a futuro.

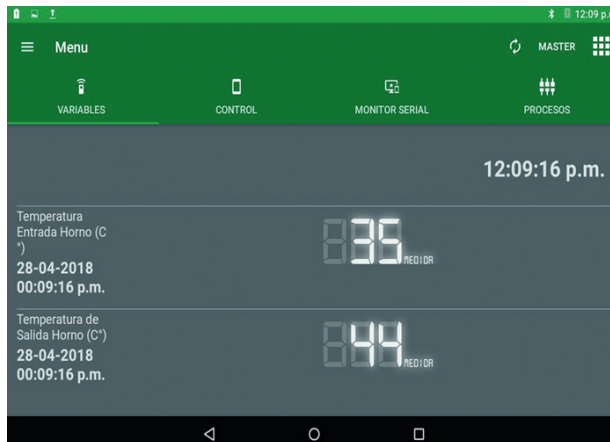


Figura 1. Interfaz Android AGROSCADA

El sistema se complementa con otros módulos requeridos tales como etapas de potencia para equipos de corriente alterna, sistemas dinámicos de comunicación inalámbrica, banco de registros y estadísticas, sistemas de mando remotos, sistemas de riego y fértil-riego, sistemas de investigación o estudio del mejoramiento de procesos a través de meteorología.

Las placas de desarrollo utilizan para expandirse un mecanismo llamado “shields”, las cuales permiten expandir módulos de diferentes prestaciones en la tarjeta colocados encima uno del otro, ajustándose mediante pines largos. A Diferencia el sistema de control agropecuario AGROSCADA, utiliza un sistema donde la board o tarjeta madre tiene listos los conectores para insertar los módulo de expansión requerido, separado las entradas y salidas del microcontrolador central, si se requiere colocar otro módulo no se coloca encima del que ya está colocado si no en otro lugar dispuesto para este módulo en la board. Esto ayuda a que los módulos de extensión para comunicación por ejemplo, estén diseñados para que sus antenas queden por fuera del sistema y no interfieran con otro módulos.

El aspecto mas importante a tener en cuenta es que el dispositivo es diseñado específicamente para ajustarse a procesos agropecuarios y ambientales como invernaderos, riego, galpones, procesos piscícolas, floricultivos, medición en medios ambientales, control de plantas de tratamiento de agua, entre otros; es decir en lugares húmedos, agrestes, con presencia de hormigas y otras especies, por lo tanto este sistema es de bajo costo a diferencia de un PLC, es fácil de programar, y se puede reemplazar cada componente en una board integrada según la necesidad del proceso. El sistema a diferencia de las tarjeas de desarrollo esta cubierto con una carcaza que cumple normas IP65. En pocas palabras, *el sistema diseñado es un conjunto de elementos y accesorios dispuestos de forma integral para prestar una solución en procesos agropecuarios y agroindustriales.*

Hay sistemas específicos similares que se han creado para medir y controlar algunos procesos agrícolas, pero que difieren en varias características adaptadas en AGROSCADA. En la tabla 1 se resume algunas invenciones similares y sus respectivas diferencias con AGROSCADA.

Tabla 1. Comparativa de invenciones con AGROSCADA [3]

Nro. Patente	Descripción	Comparativa
CN 103293993A	Automatic greenhouse environment control system A kind of greenhouse environment automatic control.	No tiene módulo de comunicaciones 3G ni uso de protocolos 802.15.4 ZBEE para comunicación de sensores como sí lo tiene AGROSCADA.
CN 105242720A	Greenhouse automatic control system based on griculture Internet-of-Things The automatic control system for greenhouse of agriculture based on internet of things.	De forma similar este dispositivo sí tiene comunicación inalámbrica para interconexión de sus módulos, pero esta patente se centra más en el proceso de invernaderos que en el dispositivo que hace posible el control. AGROSCADA se diferencia de éste en el detalle que da al dispositivo de control como eje central desde el cual se puede escalar a cualquier sistema agropecuario.
CN 103576589A	Intelligent greenhouse roller curtain control system based on multi-sensor information fusion technology Based on intelligent greenhouse	Esta se centra en el control mediante la intervención a un sistema de rodillo para modificar posición de cortinas y así modificar condiciones de humedad en un invernadero.

Tabla 1. Comparativa de invenciones con AGROSCADA [3] (Continuación)

CN 103576589A	roller shutter control system of multi-sensor information fusion technology.	
CN 103609363A	Managing and monitoring system for seedling culture in greenhouses A one greenhouse seedling management monitoring system	Aunque AGROSCADA puede ser utilizado para control de invernaderos, aquí se centra en explicar el proceso para manejar invernaderos, no en el controlador, AGROSCADA se centra o especializa en dotar al controlador de la robustez y escalabilidad suficiente para permitir adecuarlo a necesidades en cultivos abiertos o cerrados.
CN 105242720A	Greenhouse automatic control system based on agriculture Internet-of Things The automatic control system for greenhouse of agriculture based on internet of things	De forma similar este dispositivo sí tiene comunicación inalámbrica para interconexión de sus módulos, pero esta patente se centra más en el proceso de invernaderos que en el dispositivo que hace posible el control. AGROSCADA se diferencia de este en el detalle que da al dispositivo de control como eje
CN 106094645A	Intelligent Automatic Multifunctional Shelter for Farmland Based on Internet of Things	A similitud de AGROSCADA esta solución maneja tecnología IOT (internet of things) enviando señales de sensores a internet para ser supervisados y tener la trazabilidad del proceso. Sin embargo no describe otras formas de comunicación local que son necesarios para la
CN 106249669A	A greenhouse based on single precise irrigation measure and control system and method thereof	A diferencia de AGROSCADA este sistema tiene una pantalla LCD para mostrar los datos. AGROSCADA tiene touch. AGROSCADA está especializado en procesos agropecuarios, incluso invernaderos, pero presenta la solución con énfasis al controlador y no a actuadores o entradas específicas, sino a como se puede aumentar y conectar diferentes sensores que son adecuados, configurados a través de AGROSCADA.

Se puede observar que hay diferentes sistema similares pero enfocados a cultivos bajo cubierta, y modificaciones específicas para este entorno. Otra diferencia notable es que AGROSCADA esta diseñado en el contexto del sector agropecuario y ambiental Colombiano.

AGROSCADA se ha probado en diversas aplicaciones, pero para no extender el presente artículo, se va a mostrar su aplicación en un proceso de inmunización y secado de guadua.

III. Implementación en proceso secado e inmunizado de guadua

La guadua es uno de los elementos de construcción más utilizados en Colombia, ya sea como materia prima o como herramienta, sin embargo los métodos de producción siguen siendo artesanales y no son apropiados para su buen desarrollo, por consiguiente los procesos son más lentos, requieren mayor esfuerzo humano y sobrecostos para el correcto tratamiento. El bambú para ser inmunizado requiere someterse a agentes químicos que eliminen organismos causantes de la descomposición [2]. Como se realiza actualmente requiere de 15 a 20 días para lograr que la guadua esté correctamente inmunizada para alargar su vida útil, ya que los químicos usados no se diluyen fácilmente y el sistema estático de inmersión en un tanque, no consigue inmunizar de forma homogénea la guadua. [3].

El sistema inmunizado controlado por el sistema AGROSCADA permite mejorar este proceso y reducir a 12 horas el tiempo necesario de inmunización debido a que los insumos químicos se diluyen mejor, al realizar un calentamiento controlado de las sustancias en el proceso dentro de los rangos de temperatura de 45 a 60 grados Celsius y aplicar la sustancia de inmunización de manera homogénea en un lote de 45 guaduas, en la figura 3 se observa el proceso descrito.

El proceso inicia cuando es llenado de agua el tanque (E1), luego se adicionan los químicos, se colocan en promedio 40-45 guaduas en el interior del tanque (T1), una vez los elementos estén dispuesto en el tanque, se iniciar el procesos mediante el controlador AGROSCADA (C1), el variador y la electrobomba es accionada (MB1) e inicia la salida de la sustancia (agua + químicos) pasando por el calentador (H1) hacia la salida de la solución o sustancia, es decir desde O1 hacia L1.

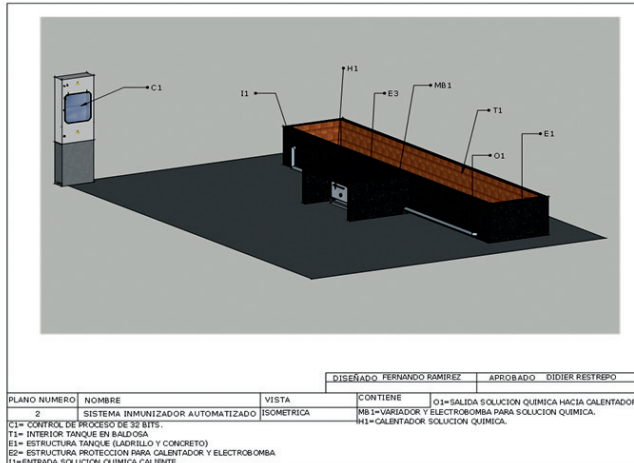


Figura 3. Sistema inteligente de inmunizado usando AGROSCADA

La temperatura es regulada controlando la velocidad de flujo del agua en un tanque hacia un horno a gas, por medio de un variador industrial. A mayor velocidad la temperatura disminuye y a menor velocidad la temperatura aumenta. Para verificar que la guadua está bien inmunizada, se observaron varias muestras de guadua donde se eliminaron los organismos causantes de la descomposición y verificado por expertos en el manejo de la guadua de la empresa DECOGUADUA SAS.

Mediante el sistema AGROSCADA, se ingresan por una interfaz tipo Tablet, los valores de temperatura deseados, y se toman la medidas a la entrada y salida del tanque, ajustando automáticamente por medio del variador en los rangos óptimos para el proceso, como se muestra en la figura 4.

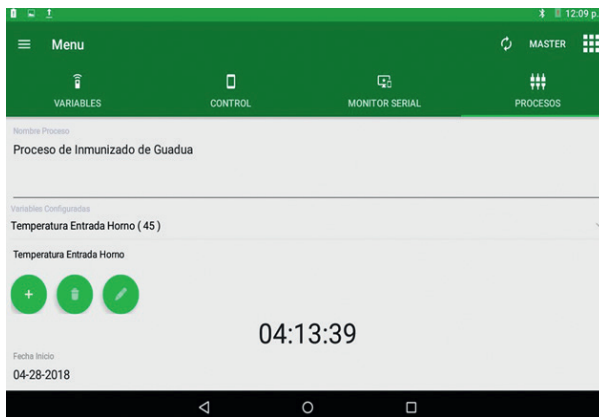


Figura 4. Interfaz del software AGROSCADA

Para mejorar el ahorro de gas, una vez alcanzados los valores óptimos de temperatura en el tanque, una válvula de gas se cierra automáticamente y se dispara el piloto del horno en modo “apagado”.

La dinámica de entrada y salida de agua, para regular la temperatura permite además del control de temperatura, que la sustancia se aplique homogéneamente en toda la guadua depositada en el tanque.

En la siguiente figura se evidencia como sube la temperatura de la sustancia de forma controlada según requiere el proceso mencionado.

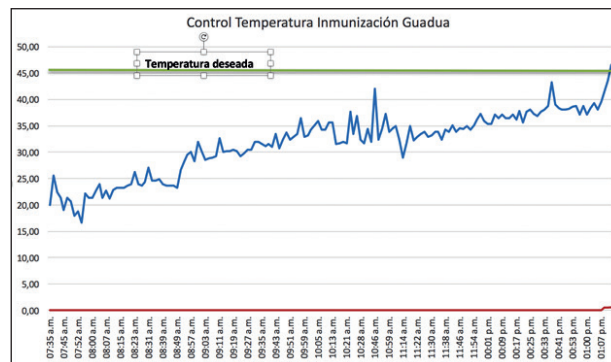


Figura 5. Gráfica calentamiento tanque controlado

Como puede observarse, al aplicar el control por medio de AGROSCADA, la temperatura del tanque se va incrementando y llegando a la temperatura deseada de 45 grados Celsius en promedio en 6 horas, para un volumen de líquido de 4680 litros aproximadamente, lo cual es óptimo y mejora el proceso que se realiza tradicionalmente.

A. Ecuaciones y cálculos para el sistema de control

El tanque para el proceso de calentamiento [4], tiene unas medidas de 8.5 m * 1.5 m * 0.9 m de ancho, largo y alto respectivamente. De acuerdo a reducción por utilización de cemento y otros materiales, los datos a considerar para el cálculo de la potencia calorífica y el tiempo de calentamiento del mismo resultaron en 1.26 m * 8.26 m * 0.45 m.

Para este proceso, en primera instancia el tanque se empieza a calentar a una temperatura entre 30 °C y 40 °C. La temperatura ambiente se toma como 25 °C.

Ahora, para hallar el tiempo de calentamiento que se debe emplear para alcanzar una temperatura de 40 °C que es la deseada para empezar a controlar dentro del proceso de inmunizado, se debe hallar la energía requerida y la potencia calorífica del tanque.

La energía es :

$$E = m * C_o * \Delta T \quad (1)$$

Donde E es energía, m es la masa del agua, C_o es el calor específico del agua y ΔT es la diferencia de temperatura.

El volumen del tanque es de:

$$V = 1.26 * 8.26 * 0.45 = 4.68m^3 = 4680L \quad (2)$$

Por tanto, como la densidad del agua es de $1 \frac{kg}{L}$,

La masa

$$m = d * V = 1 \frac{kg}{L} * 4680L = 4680kg \quad (3)$$

El calor específico del agua es una constante y su valor es de C_o = 4180J

La diferencia de temperaturas ΔT = (40 - 25) = 15°C

Con estos datos, la energía requerida es igual a:

$$\begin{aligned} E &= (4680kg) * (4180J) * (15^\circ C) \\ &= 293.436.000J * \left(\frac{1kcal}{4200J}\right) \\ &= 70085.99kcal \end{aligned}$$

Ahora, la potencia calorífica es una relación entre el caudal como característica del calentador y la diferencia de temperatura que se trabaja. Para el calentador a utilizar el caudal $Q = 13 \frac{L}{min}$

La potencia calorífica es igual a:

$$\begin{aligned} P &= Q * \Delta T = 13 \frac{L}{min} * \frac{60min}{1h} * (15^\circ C) = 780 \frac{L}{h} * \\ &15^\circ C = 11700 \frac{kcal}{h} \end{aligned} \quad (4)$$

Ahora, teniendo el dato de la energía requerida y la potencia calorífica se puede hallar cuál será el tiempo requerido para el proceso de calentamiento para lograr una temperatura de 40°C :

$$t = \frac{E}{P} = \frac{70085.99\text{kcal}}{11700\frac{\text{kcal}}{\text{h}}} = 5.99\text{horas} \quad (5)$$

Este tiempo es el requerido para calentar el agua hasta una temperatura de 40°C, a partir de ahí empieza el proceso de inmunizado de la guadua en el cual se debe controlar la temperatura entre ese valor de 40°C y 60°C. Este proceso dura en total 8 horas. El comportamiento se evidencia en la figura 6.

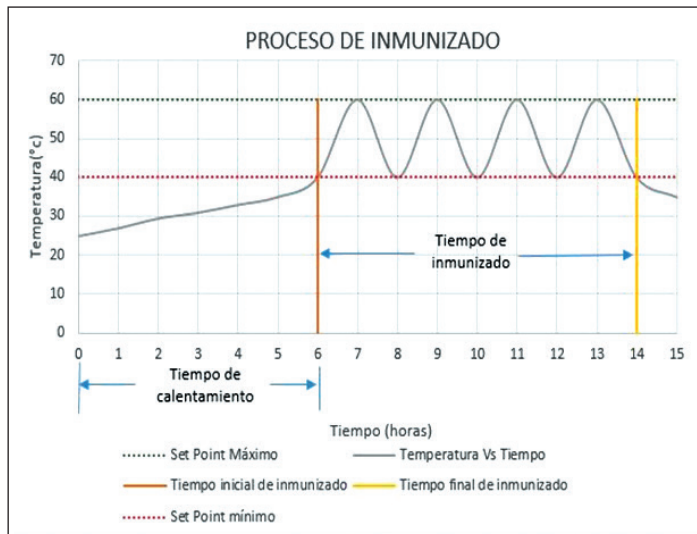


Figura 6. Cálculo y diseño del control según comportamiento de temperatura para inmunización

B. Proceso de secado de guadua

El sistema se basa en procesos de secado de madera y granos, aprovechando la energía solar, y los flujos de aire controlados.

Según el tamaño de la cámara de secado “tipo invernadero” permite colocar en promedio 200 guaduas, una vez cerrado las puertas, el sistema es controlado para suministrar aire caliente en forma horizontal e incremental, la temperatura se va aumentando hasta el punto de resistencia normal de la guadua, y luego se empieza a bajar, hasta el punto de consistencia o “no quiebre”. Realizando una curva de calentamiento suave y luego una curva de enfriamiento suave.

El sistema también funciona a gas, controlado por AGROSCADA, midiendo la temperatura y la humedad tanto relativa como de la guadua.

En la madera se insertan dos sondas en medio de la guadua, que determinan el grado de humedad o cantidad de agua presente en el sólido (se insertan dos sondas como muestra estadística del comportamiento interno de secado).

El sistema de secado está cubierto por tejas de policarbonato que permite que el sol de forma natural aporte en el secado y disminución del consumo de gas, aprovechando la luz solar del día para realizar el proceso. El calor generado por este proceso solar, se controla con una malla de polisombra de alta densidad, que experimentalmente disminuye la temperatura de 50 grados a 35-40, ya admisible para evitar resquebrajamiento de la guadua.

Este sistema permite secar 200 guaduas, en 1 o 2 días aproximadamente, dependiendo de las condiciones atmosféricas.

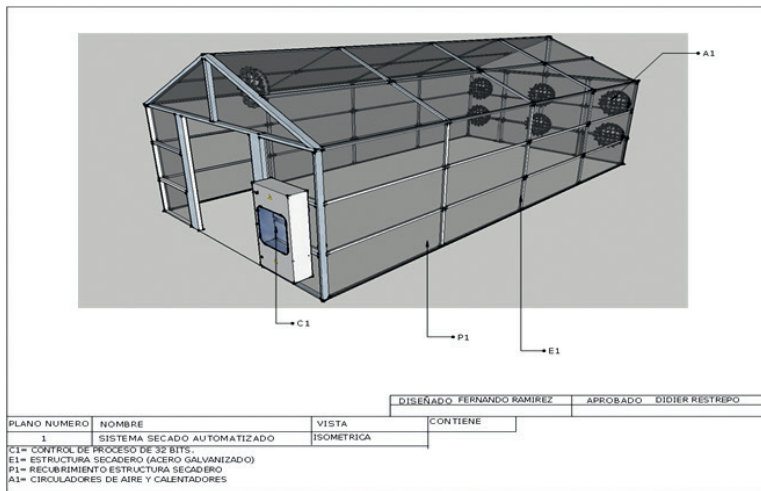


Figura 7. Sistema secado de guadua

Luego de la culminación del proceso de inmunización descrito anteriormente, la guadua pasa a dejarse escurrir por un lapso de 1 hora para luego entrar a la cámara de secado. El proceso de secado de acuerdo a las características de la cámara con que se trabajará tiene una duración aproximada de 48 horas, una vez finalizado se procede a enfriar por otro lapso de 24 horas. El objetivo es controlar la temperatura durante el proceso de secado a que se encuentre en un rango entre 40 y 50 °C, y que la humedad que inicialmente como la guadua está con un contenido de agua alto (100%) se vea reducida hasta llegar a un 15%. En el proceso de enfriamiento se busca

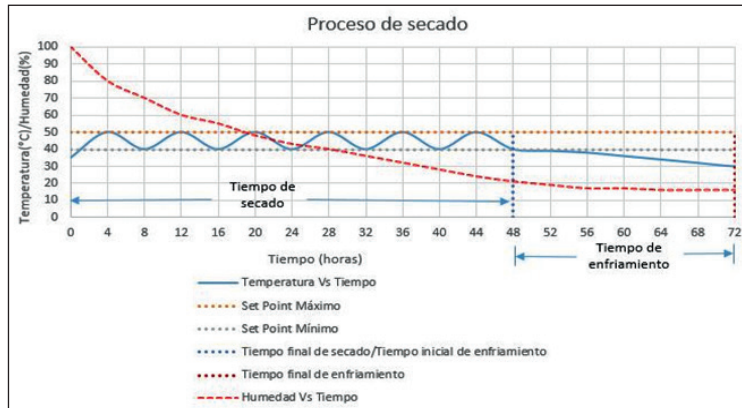


Figura 8. Control secado guadua

reducir la temperatura hasta 30 °C. Este comportamiento se ve ilustrado en la figura 8.

Los anteriores cálculos son suministrados en la programación del dispositivo AGROSCADA, y según el valor deseado por el usuario y la opción de control automático del proceso, este inicia a controlar y registrar las variables configuradas previamente, permitiendo al usuario final observar el comportamiento del proceso para su posterior análisis. El sistema posee para la toma de decisiones, un sistema de reportes web, móvil y también local, que el usuario puede consultar y descargar en Excel o pdf, como se muestra en la siguiente figura:

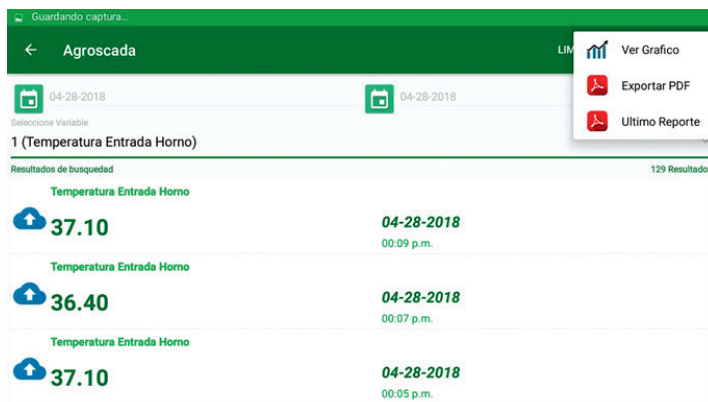


Figura 9. Reportes en AGROSCADA

IV. Conclusiones

Este artículo describe la puesta en marcha de un sistema IOT aplicado a la agroindustria, los resultados arrojados muestran que el dispositivo y el sistema en general, cumple las expectativas y puede ser utilizado en procesos similares para el como herramienta para potencializar el sector agropecuario Colombiano, en medios o ambientes agrícolas y pecuarios similares (secaderos de café, sistemas piscícolas, sistemas de transformación primarios, entre otros).

El aporte fundamental del equipo radicó en que sus aplicaciones se desarrollaron en torno a necesidades específicas del tipo de producción y metodologías empíricas del productor, para este caso de industrialización de la guadua, pero en un contexto de potencialización y mejoramiento del proceso.

En el proceso de inmunización y secado, se pudo comprobar como el uso de esta tecnología conectada internet permitió el mejoramiento del proceso, la reducción de costos de producción claramente comprobados en la reducción del tiempo de inmunización de 4 -20 días [3][7] a 8 horas, como muestra la figura 6 y 8, y condiciones controladas de temperatura redujeron en un 50% los daños en la guadua.

Referencias

- [1] MISIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL CAMPO, CORPOICA, 2015, tomado de url: <https://colaboracion.dnp.gov.co- -io-CORPOICA.pdf>
- [2] MONTOYA-ARANGO J. A., (2002a): Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la Guadua. Universidad Nacional de Colombia, Tesis MSc., Manizales- Colombia. 180 pp. Amarilis Burgos F. REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN DEL BAMBÚ*
- [3] Jaime Salazar Contreras' - Gustavo Díaz2- Inmunización de la guadua- Ing. Inv., Issue 38, p. 14-20, 1997. eISSN 2248-8723
- [4] Clarivate Accelerating innovation Búsqueda de patentes internacionales, sistema de consulta: <https://clarivate.com/products/derwent-innovation/> .
- [5] Kurt C. Rolle Pearson Educación, 2006, "Termodinámica" pp. 135–200.
- [6] Juan Arturo Miranda Medrano, *Fundamentos de Medición y Control de Procesos*, 2017 - 272 pag.
- [7] EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA LA PRESERVACIÓN DE LA Guadua *angustifolia kunth*. Ph.D, MSc JORGE AUGUSTO MONTOYA ARANGO



Extracción de cafeína en café especial (*coffea arabica l. var. colombia*) por medio de microondas

- **Lizeth Juliana Jiménez-Aguilar**
- **Diego Fernando Barreto-Varón**
- **Johanna Andrea Serna-Jiménez**
- **Laura Sofía Torres-Valenzuela**
- **Alejandra Sanín-Villarreal***
- Facultad de Ingenierías, Programa de
- Ingeniería Agroindustrial
- Universidad La Gran Colombia Armenia
- Armenia, Colombia
- *saninvilalejandra@miugca.edu.co

Resumen — La cafeína es un alcaloide presente de manera natural en el café y es añadido en otras bebidas refrescantes. La cantidad de este compuesto presente en una taza de café varía entre los 90 y 150 mg y aunque en grandes cantidades puede ser perjudicial, en cantidades moderadas funciona como estimulador del sistema nervioso, cardíaco y respiratorio y posee una capacidad antioxidante (CA) que genera diferentes beneficios en la salud al momento de consumirlo. Actualmente, pocas empresas realizan la extracción de cafeína debido a que es un proceso costoso con equipos complejos y los solventes en su mayoría son contaminantes y perjudiciales para la salud. Por consiguiente, el objetivo fue evaluar una alternativa de extracción de cafeína utilizando microondas que permita obtener cafeína para diferentes industrias y café descafeinado. Mediante una superficie de respuesta con un diseño central rotatorio, se encontró el punto óptimo de extracción con variables de tiempo y temperatura, evaluando como solventes, agua y etanol al 70%, y se cuantificó la cantidad de cafeína extraída por medio de espectrofotometría, y la CA por ABTS y DPPH. Los resultados obtenidos mostraron mejor rendimiento con agua controlando tiempo y potencia con valores de 2s y 30W, respectivamente; la cantidad de cafeína extraída fue 435,90 ppm en el punto óptimo, y la CA estuvo entre 81,97-106,50 Trolox equivalente, para ambos tratamientos. Finalmente, se evidenció que el proceso de extracción de cafeína asistida por microondas utilizando agua como solvente es un método que permite la extracción de biocompuestos y la obtención de café descafeinado sin presentar pérdidas significativas de las características específicas del café estudiado, utilizando cortos tiempos y medias potencias durante el proceso, lo que permitió concluir que la extracción de cafeína asistida por microondas es una excelente alternativa para dar valor agregado a la cadena productiva del café.

Abstract — Caffeine is an alkaloid present naturally in coffee and is added to other soft drinks. The amount of this compound present in a cup of coffee varies between 90 and 150 mg and although in large quantities can be harmful, in moderate amounts it acts as a stimulator of the nervous, cardiac and respiratory systems and has an antioxidant capacity (AC) that generates different health

benefits when consuming it. Currently, few companies perform the extraction of caffeine because it is an expensive process with complex equipment and solvents are mostly contaminants and harmful to health. Therefore, the objective was to evaluate an alternative of extraction of caffeine using microwaves that allows to obtain caffeine for different industries and decaffeinated coffee. Using a response surface with a rotating central design, the optimal extraction point with time and temperature variables was found, evaluating water and ethanol (70%) as solvents, and quantifying the amount of caffeine extracted through spectrophotometry, and the AC by ABTS and DPPH. The obtained results showed better performance with water, controlling time and power with values of 2s and 30W, respectively; the amount of caffeine extracted was 435.90 ppm at the optimal point, and the CA was between 81.97-106.50 Trolox equivalent, for both treatments. Finally, it was evidenced that the microwave-assisted caffeine extraction process using water as solvent is a method that allows the extraction of biocompounds and the obtaining of decaffeinated coffee without significant losses of the specific characteristics of the coffee studied, using short times and average powers during the process, which allowed us to conclude that the extraction of caffeine assisted by microwaves is an excellent alternative to add value to the coffee production chain.

Palabras Claves —Bicomponentes, Cafeína, Capacidad antioxidante, Descafeinado

I. Introducción

En la actualidad, el café es uno de los productos agrícolas con mayor importancia económica, cuyas ventas para el año 2014 alcanzaron los 11 millones de sacos de café verde generando ingresos de hasta 5,2 billones, correspondientes a un aumento del 13% en la producción respecto al año anterior. Este cultivo representa uno de los principales sustentos económicos para el Quindío, con una totalidad de hectáreas sembradas de 21, 462.81 y con una participación de producción nacional del 3,09 % para el año 2014 según las estadísticas del Ministerio de Agricultura [1].

El sector cafetero es un negocio poco rentable para el productor a causa de la comercialización en grano seco; ya que, la mayor rentabilidad está entre los intermediarios y tostadores que comercializan el grano tostado, por ende, se requieren de alternativas de bajo costo que beneficien al productor y generen productos con alto valor agregado en el mercado nacional o internacional [2].

El café está compuesto por diferentes sustancias (cafeína, minerales, lípidos, proteínas, ácidos alifáticos); entre las cuales, la cafeína tiene un 1,2%, minerales 4,2%, 11,5% de proteínas- aminoácidos y 58% de carbohidratos con respecto a materia seca. Algunos de estos componentes se han relacionado con efectos sobre el sistema cardiovascular, diabetes tipo 2 y aumento de la concentración plasmática de epinefrina haciendo a la cafeína uno de los componentes más utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica [3,4].

La cafeína es un alcaloide del grupo de las xantinas, perteneciente a la familia de las metilxantinas, fuente de compuestos fenólicos que poseen un anillo aromático y un grupo de hidroxilos con una cadena tricarbonada de un éster del ácido cafeico y clorogénico en el que se ha comprobado la capacidad antioxidante, así como un reconocido efecto antimicrobiano, que pueden contribuir a la prevención de enfermedades, por lo cual pre-

senta gran importancia en la industria farmacéutica y en la industria de alimentos [5,6]

Para la extracción de cafeína a partir de café verde, se debe tener un proceso endotérmico, en el cual pierde agua libre aproximadamente del 3% P/V (Secado) y se utilizan diferentes técnicas como extracción por fluidos supercríticos, disolventes, filtración, entre otros; estas, son opciones muy costosas en comparación con otras como la extracción asistida por microondas, técnica que consiste en la utilización de una emisión de ondas de baja frecuencia con el objetivo de que su energía haga vibrar o rotar las moléculas presentes en los cuerpos sometidos a dichas ondas, facilitando la extracción de componentes como la cafeína del café verde [6,7].

Por lo anterior, el objetivo fue evaluar una alternativa de extracción de cafeína utilizando microondas que permita obtener cafeína y café descafeinado.

II. Materiales y Métodos

Por favor use únicamente Times New Roman a lo largo del documento.

A. *Obtención y adecuación del material vegetal*

Se utilizó café especial verde (*Coffea arabica L. var. Colombia*) suministrado por la empresa TRACEABLE COMMODITIES. Se realizó una selección de los granos, verificando que estuvieran enteros, sanos y sin presencia evidente de defectos.

B. *Extracción asistida por microondas*

Para la evaluación de extracción de cafeína se utilizaron dos solventes, etanol al 70% (Scientific Products) y agua destilada, con una relación muestra-solvente 1:10 (m/V). Las corridas se realizaron en microondas (General Electric modelo JES1152SFE) con potencia máxima de 100 W, se determinó una variable dependiente (rendimiento) y tres variables independientes (tiempo, temperatura, potencia), con cinco niveles diferentes de potencia (100, 90, 60, 30, 20 W) en diferentes tiempos (12, 10, 6, 2 y 1 segundos), estableciendo las variables para obtener un delta de temperatura promedio entre (16 y 38,35 °C), evitando mediante las variables fijadas que el solvente etanol se volatilizara. El extracto obtenido se analizó inmediatamente

en un espectrofotómetro (Thermo fisher scientific) a una longitud de onda de 273nm, de acuerdo a uno de los máximos de absorbancia de la cafeína, según lo reportado por Nyamien *et al.* (2013) [8], Puertas Mejía *et al.* (2013) [9] y Hernández *et al.* (2015) [10].

C. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos de cafeína se determinó mediante los métodos ABTS y DPPH, como se describe a continuación.

1) *Ensayo ABTS*: Para llevar a cabo la determinación es necesaria la formación del cromóforo respectivo, por lo que se procedió a formar el radical monocatión ABTS^{•+}, al reaccionar una solución 7mM de ABTS (Merck, Alemania) con una solución 2,45mM de K₂S₂O₈ (Merck, Alemania) y reposo en oscuridad por 16 horas. Luego, la solución formada se diluyó hasta conseguir una absorbancia de 0,712 a 734nm [11].

Para la prueba se tomaron 100μL de muestra, se añadió 1mL de la solución preparada de radical ABTS^{•+}, y después de 30 minutos de reacción en la oscuridad a temperatura ambiente, se observó la capacidad antioxidante midiendo la absorbancia a 734nm en un espectrofotómetro. El resultado se reportó como actividad neutralizante de radicales ABTS (%) de acuerdo con la Ec. 1 y como actividad antioxidante equivalente al trolox (TEAC) cuyas unidades son μmoles equivalentes a trolox por gramo de café (μmol TE/g café) mediante la Ec. 2 [11,12].

2) *Ensayo DPPH*: Para esta prueba se tomaron muestras de 10μL de extracto y se adicionaron 990μL de DPPH para un volumen final de 1mL, se permitió que las mezclas reaccionaran en la oscuridad por un periodo de 30 minutos y se llevó a lectura en espectrofotómetro a 529 nm [13]. Los datos obtenidos se expresaron como porcentaje de actividad neutralizante de radicales DPPH aplicando la Ec. 1 y como actividad antioxidante equivalente al trolox (TEAC) mediante la Ec. 2 [11,12].

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = \frac{\text{Abs Inicial} - \text{Abs Final}}{\text{Abs Inicial}} * 100 \quad (1)$$

$$\text{TEAC}(\mu\text{molTE/g}) = \frac{(\% \text{ actividad antioxidante}) + 0,8567}{0,9376} \quad (2)$$

D. Diseño experimental

Se empleó un diseño de superficie de respuesta a través del software estadístico Minitab 17 y se realizaron 28 corridas experimentales con dos réplicas de cada punto, y el punto central se replicó 12 veces.

III. Resultados y Discusión

A. Efecto del tiempo, potencia y solvente (Agua destilada) sobre la extracción de cafeína

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la extracción de cafeína asistida por microondas utilizando agua como solvente, donde los valores de concentración se encuentran entre <100 y 400 ppm, obteniendo las concentraciones más altas en tiempos cortos y potencias altas y bajas. La concentración más alta reportada correspondió a las extracciones realizadas utilizando 30W y 90W de potencia con 2s de tratamiento; teniendo en cuenta que una alta potencia requiere un consumo energético mayor, los resultados indicaron que para la extracción se pueden emplear condiciones de baja potencia y corto tiempo obteniendo un extracto de gran contenido de biocomponentes del café, lo que señala que la técnica utilizada es una excelente opción para realizar una extracción efectiva y de bajo costo [14].

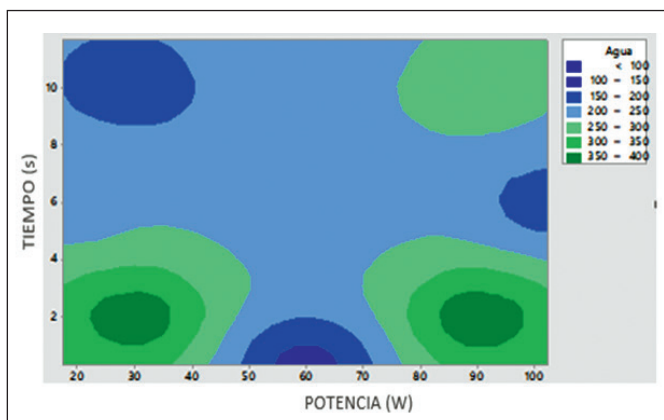


Figura 1. Contorno de concentración de cafeína en agua vs tiempo y potencia.

Como se observa en la Figura 1, cuando se aumenta el tiempo de tratamiento, la concentración de cafeína obtenida tiende a ser menor, lo anterior puede deberse a que la aplicación de la radiación electromagnética de las microondas por periodos prolongados podría dar lugar a la degradación de los biocomponentes de interés, afectando negativamente la eficiencia del proceso de extracción [15]. El calentamiento con microondas difiere de los métodos conductivos, porque en estos últimos el calentamiento es

independiente de la muestra o material que se está calentando, mientras que el uso de microondas está relacionado directamente con las características absorbentes de la muestra, lo que permite calentar eficientemente en cortos períodos de tiempo; además, en la radiación de microondas se emplean pulsos cortos de baja potencia disminuyendo la manipulación de la muestra, y reduciendo significativamente la termodegradación de la matriz o los **analitos** [9]. Lo anterior nos permite destacar la importancia de utilizar condiciones que apliquen baja potencia y corto tiempo de tratamiento, buscando evitar la degradación de los biocomponentes extraídos, debido a que como ha sido demostrado por otros autores, existen valores óptimos para la potencia utilizada, los cuales pueden estar determinados por la temperatura alcanzada durante el calentamiento y/o por la degradación de los compuestos por la acción propia de las microondas [15,16].

B. Efecto del tiempo, potencia y solvente (Etanol al 70%) sobre la extracción de cafeína

En la Figura 2 se puede observar los resultados de concentración de cafeína utilizando etanol al 70% como solvente, donde los mejores resultados se obtienen al implementar potencias y tiempos de 90W por 10s y 60W por 12s.

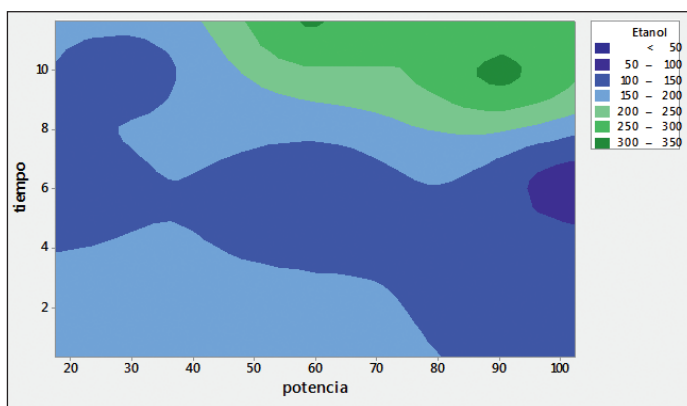


Figura 2. Contorno de concentración de cafeína en etanol 70% vs tiempo y potencia.

Lo anterior indica que emplear condiciones de extracción que incluyen potencias altas permite la obtención de una mayor concentración de cafeína en el solvente, lo cual es concordante con lo reportado para otros compuestos extraídos mediante la misma técnica, como es el caso del estudio

de Zhang y Liu en el 2008 sobre la extracción asistida por microondas de licopeno del tomate [17]. Dado que para la mayoría de los solventes la solubilidad aumenta de manera proporcional a la temperatura del mismo, las extracciones de cafeína utilizando etanol son más eficientes al aumentar la temperatura del solvente, debido a que la solubilidad del analito se incrementa, lo cual también podría contribuir a los resultados observados, ya que una mayor potencia y un tiempo de tratamiento más prolongado conduciría a una aplicación de calor a la muestra mayor, permitiendo que alcance temperaturas más altas [18].

Para las variables de extracción de cafeína, se aprecia un efecto significativo del tiempo (valor $p= 0,016$), evidenciando un cambio sustancial en la variable de respuesta en función de este factor, sin embargo, la potencia (valor $p=0,625$) no presentó un efecto significativo sobre el proceso. El efecto del tiempo de tratamiento en la eficiencia del proceso de extracción nos permite concluir que la concentración de cafeína en el extracto obtenido aumenta conforme la muestra es sometida al procedimiento por un tiempo prolongado, es necesario evitar que las condiciones generen un calentamiento elevado del solvente, ya que puede conducir a la volatilización del etanol o la degradación de los biocomponentes extraídos [16].

El etanol se caracteriza por ser un solvente no tóxico, donde su capacidad de extracción de cafeína y compuestos bioactivos se puede atribuir a sus propiedades físico-químicas que permiten la solubilización del analito, como su polaridad y los iones disueltos que son los encargados de producir una fricción molecular de la rotación dipolar y la migración conducida del compuesto de interés, en este caso la cafeína, sin embargo, las posibles diferencias de extracción de cafeína se pueden relacionar con el tiempo, ya que al aumentar el tiempo de exposición (etanol- café) aumenta su contenido de cafeína, como reporta Sierra et al. (2012) [6], coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Para concluir respecto a la evaluación del tipo de solvente, se observó que la extracción con agua tuvo mayor concentración de cafeína en comparación con el proceso realizado con etanol. Asimismo, en contraste con los resultados obtenidos para el solvente agua, la eficiencia de la extracción utilizando etanol depende significativamente de la potencia aplicada y del tiempo de tratamiento, lo que implica un mayor costo de producción respecto al proceso de extracción asistida por microondas empleando agua. En consecuencia, es posible establecer que el agua es un solvente cuyas

propiedades le dan la facultad de ser efectivo para la realización de un proceso de extracción de bajo costo.

Finalmente, el calentamiento por microondas sucede en diferentes zonas de la muestra, liberando diferentes concentraciones de cafeína, por lo cual esta extracción, es un proceso que ha mostrado ser muy efectivo en comparación con otros tratamientos, ya que reduce los efectos colaterales como las pérdidas de características propias del producto (café), mejorando la calidad de este [6,19].

Teniendo en cuenta lo anterior, la extracción de cafeína asistida por microondas implementando agua como solvente es una opción que propone un proceso eficiente, amigable con el medio ambiente y económico, al poder reducir los costos de producción.

C. Capacidad antioxidante

Los biocomponentes extraídos del café durante los procesos de extracción de cafeína presentan actividad antioxidante destacada, por lo cual se realizaron análisis de dicha capacidad mediante los métodos DPPH y ABTS. Los resultados obtenidos se pueden observar en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Porcentaje de actividad antioxidante por DPPH

Prueba	10 (min)	15 (min)	20 (min)	25 (min)
Agua destilada	89,6	89,4	94,8	98,9
Etanol 70%	92,8	91,6	95,6	95,6

La actividad antioxidante se evaluó mediante el método del radical libre DPPH, dicho radical tiene un electrón no apareado (libre) y presenta un color azul-violeta que cambia a amarillo pálido en presencia de una sustancia antioxidante [13]. Ambas muestras, extraídas con agua destilada y utilizando etanol al 70%, mostraron valores máximos de 98,9% y 95,6% al cabo de 25 min respectivamente, siendo un porcentaje >50% que indica la alta capacidad antioxidante de los biocompuestos extraídos. Lo anterior concuerda con lo reportado en la literatura por Naidu et al., donde se midió el porcentaje de actividad neutralizante de radicales DPPH de extractos de café verde obtenidos mediante mezclas isopropanol:agua, dando como resultado que el extracto presenta un porcentaje de actividad mayor cuando la proporción de agua utilizada en la mezcla de solventes era

mayor [20]. Este efecto también se evidenció en los resultados obtenidos al obtener una mayor valor máximo de actividad neutralizante de radicales DPPH para la muestra de biocompuestos extraídos del café al emplear agua destilada como disolvente respecto a la muestra correspondiente al uso de la mezcla etanol:agua 70:30 (etanol 70%).

Tabla 2. Porcentaje de actividad antioxidante por ABTS

Prueba	% actividad antioxidante	TEAC ($\mu\text{molTE/g}$)
Agua destilada	76	81.97
Etanol 70%	99	106.50

Entre los métodos utilizados para determinar la capacidad de un antioxidante para captar radicales libres, el radical ABTS $\bullet+$ es uno de los más aplicados, al considerarse un método de elevada sensibilidad, práctico, rápido y muy estable; a pesar de esto los valores actividad antioxidante pueden depender del tiempo escogido para efectuar la medida. La absorbancia medida por el método ABTS se determinada a los 1 y 7 minutos; los resultados obtenidos por algunos investigadores indican que la reacción con el radical ABTS $\bullet+$ no se completa hasta pasado 1 minuto, y según RE et al., el tiempo de 4 minutos es el más apropiado [21]. No obstante, SELLAPPAN et al., sugieren tiempos de medida de 6 minutos para los patrones de referencia y de 7 minutos para los compuestos puros, extractos de plantas o de alimentos [2].

Los resultados en la prueba ABTS mostraron mayor capacidad antioxidante para el Etanol al 70% comparado con agua destilada, con valores de % de actividad antioxidante de 99% y 76% respectivamente, presentando así los granos de café altos valores en capacidad antioxidante, que son atribuidos a la presencia de biocomponentes presentes en el café.

Cabe destacar que las dos metodologías pueden diferenciar la capacidad para neutralizar radicales libres que posee un antioxidante; sin embargo, el ensayo con DPPH es mucho más selectivo que el método con ABTS debido a su conformación espacial, siendo difícil llegar al sitio activo, debido al alto impedimento estérico en el sitio activo; esta propiedad le ha dado vigencia a la técnica y permite diferenciar muy bien los antioxidantes neutralizantes de radicales libres [11].

Los resultados en la prueba ABTS mostraron mayor capacidad antioxidante para el Etanol al 70% comparado con agua destilada, teniendo en cuenta los valores obtenidos con resultados de TEAC de 106.50 ($\mu\text{molTE/g}$) y 81.97 ($\mu\text{molTE/g}$) respectivamente.

La cafeína obtenida presentó altos valores de capacidad antioxidante, teniendo en cuenta los altos porcentajes de inhibición presentados en las pruebas de DPPH y ABTS, cuando los radicales libres producidos en el organismo sobrepasan la capacidad de la célula para protegerse o repararse por sí misma, conducen al estrés oxidativo, el cual está asociado a enfermedades degenerativas o crónicas como el cáncer, la arterioesclerosis, la artritis reumatoidea, el mal de Parkinson, diabetes mellitus, envejecimiento y la infertilidad masculina. Las interesantes propiedades de la cafeína hacen posible su comercialización para su uso como aditivo en alimentos, fármacos y cosméticos [5,6], debido a que se obtuvieron extractos principalmente compuestos de cafeína que presentaron altos valores de capacidad antioxidante se considera que proceso asistido por microondas es una alternativa interesante para la realización del descafeinado del café verde.

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se propuso estudiar el proceso de extracción de cafeína asistido por microondas, dado que esto puede permitir obtener la cafeína como un subproducto en el proceso de descafeinado del café verde, haciendo más rentable el proceso de producción del café descafeinado al generar a su vez otro producto que puede ser comercializado, convirtiéndose en un valor agregado para la cadena productiva del café.

IV. Conclusiones

- Se evidenció que el proceso de extracción de cafeína asistida por microondas es un método que permite la extracción de biocompuestos y la obtención de café descafeinado sin presentar pérdidas significativas de las características específicas del café. Asimismo, las condiciones óptimas determinadas involucran potencias bajas y tiempos de tratamiento cortos, reportando un bajo consumo energético para el proceso, haciendo que sea una excelente alternativa para dar valor agregado a la cadena productiva del café. Finalmente, el solvente agua exhibió mejores resultados en los diferentes parámetros estudiados, respecto al etanol 70%, lo cual permite plantear su uti-

lización permitiendo la realización de un proceso que es económico y amigable con el medio ambiente, convirtiendo a la extracción de cafeína asistida por microondas en una alternativa favorable para los productores de café.

Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura, “Estadísticas Agrícolas”, Agronet, 2014.
- [2] L.I. Aguilar Zambrano, “Crisis del café y el desarrollo regional”, Scielo, 2003.
- [3] S. Calle Aznar, “Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales” Barcelona: Universidad politécnica de Catalunya, 2011, pp. 15-16
- [4] J. Tello, M. Viguera and L. Calvo, “Extraction of caffeine from Robusta coffee (*Coffea canephora* var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide”, *J. Supercrit. Fluids*, 2011, vol. 59, pp. 53-60.
- [5] A. Guitiérrez Maydata, “Café antioxidantes y protección a la salud”, Scielo, 2002.
- [6] L.M. Sierra Lopera, “Evaluación de la preservación de extractos líquidos de café mediante el uso de bacteriocina (Nisina) y aplicación de microondas”, Medellín: Universidad nacional de Colombia, 2012.
- [7] S. Dobrinas, et al., “Optimization of a uv-vis spectrometric method for caffeine analysis in tea, coffee and other beverages”, *Scientific study & Research*, 2013, pp. 71-78.
- [8] Y. Nyamien, et al., “Effect of Solvents and Solid- Liquid Ratio on Caffeine Extraction from Cote d’Ivoire Kola Nuts (*Cola nitida*)”, *Research Gate*, 2013, pp. 218-222.
- [9] M.A. Puertas Mejía, et al., “Determinación de antocianinas mediante la extracción asistida por radiación de microondas en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) de alto consumo en Antioquia – Colombia” *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 2013, vol 2, pp. 288-297.
- [10] D. Hernández Falcón, et al., “Validación de un método cromatográfico para la determinación de cafeína de muestras acuosas de la Industria Farmacéutica”, Scielo, 2015, pp. 219-231.
- [11] D. Zheleva, et al., “Radical scavenging and antioxidant activities of methanolic extracts from *Hypericum* species growing in Bulgaria”, *Pharmacogn Mag.*, 2010, vol 6, pp. 74–78.
- [12] L. Fonseca García, et al., “Capacidad Antioxidante y contenido de Fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en Norte de Santander (Colombia)”, Scielo, 2013, vol 21, pp. 228-236.

- [13] L. Almela, B. Sánchez-Muñoz, J.A. Fernandez - Lopez, M.J. Roca and V. Rabe, "Liquid chromatographic-mass spectrometric analysis of phenolics and free radical scavenging activity of rosemary extract from different raw material", *J. Chromatogr. A*, 2006, pp. 221-229.
- [14] W. Liu, C. Zhou, J. Zhao, D. Chen and Q. Li, "Optimized microwave assisted extraction of 6-gingerol from zingiber officinale roscoe and evaluation of antioxidant activity in vitro", *Acta Scientiarum Polonorum*, 2014, vol 13, pp. 155-168.
- [15] L. Petigny, S. Périno, M. Minuti, F. Visinoni, J. Wajsman, F. Chemat, "Simultaneous Microwave Extraction and Separation of Volatile and Non Volatile Organic Compounds of Boldo Leaves. From Lab to Industrial Scale", *International journal of molecular sciences*, 2014, vol 15, pp. 7183-98.
- [16] V. Guntero, et al., "Comparación de métodos de extracción de polifenoles a partir de residuos de la industria vitivinícola", VIII congreso argentino de ingeniería química, 2015.
- [17] L. Zhang and Z. Liu, "Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes", *Ultrasonics Sonochemistry*, 2008, vol 15, pp. 731-737.
- [18] A. Shalmashi and F. Golmohammad, "Solubility of caffeine in water, ethyl acetate, ethanol, carbon tetrachloride, methanol, chloroform dichloromethane, and acetone between 298 and 323 k", *Scielo*, 2010, pp. 283-285.
- [19] G. Serdar, et al., "New approaches for effective microwave assisted extraction of caffeine and catechins from green tea", *Research Gate*, 2015, vol 3, pp. 3-13.
- [20] M.M Naidu, G. Sulochanamma, S.R. Sampathu and P. Srinivas, "Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee", *Food Chem*, 2008, vol 107, pp. 377-84.
- [21] R. Re, et al., "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay", *Free Radic Biol Med.*, 1999, vol 26, pp. 1231-7.



Desarrollo de una App para la gestión y visualización de variables agrometeorológicas en el departamento del Huila

- **José Miguel Llanos Mosquera**
- Departamento de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila
- Neiva, Colombia
- jmllanosm@corhuila.edu.co
-
- **Gustavo Adolfo Trujillo Lemus**
- Departamento de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila
- Neiva, Colombia
- gustavo.trujillo@corhuila.edu.co
-
- **Alvaro Hernán Alarcón Lopez**
- Departamento de Ingeniería
- Corporación Universitaria del Huila
- Neiva, Colombia
- alvaro.alarcon@corhuila.edu.co
-

Resumen—El Huila es un departamento con vocación agrícola que se está viendo afectado por los eventos extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales, que son el resultado de fenómenos de variabilidad climática a nivel mundial. Esta dinámica está alterando significativamente los rendimientos de diferentes cultivos como el arroz, el cacao y los frutales, que hacen parte de las apuestas productivas del departamento. Actualmente el agricultor no cuenta con las herramientas tecnológicas adecuadas para el manejo de la información climática, que permitan tomar decisiones acertadas en sus cultivos y sistemas de producción, con el fin de contrarrestar los impactos negativos que se están generando. Teniendo en cuenta la importancia de las Tecnologías de la Información frente al almacenamiento, procesamiento y presentación de datos, se desarrolló GeniApp, una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android, que se encarga de procesar los registros y generar las respectivas gráficas de las variables de temperatura, temperatura del suelo, dirección del viento, velocidad del viento y humedad del suelo, que son registradas por cinco estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento y que pertenecen al Centro de Investigación CENIGAA. Concluimos que este tipo de aplicaciones permiten entregar la información climática en tiempo real y de forma precisa, para que todas las personas interesadas puedan implementar las acciones correspondientes en sus cultivos.

Abstract— Huila is a department with agricultural vocation that is being affected by extreme events such as droughts, floods and forest fires, which are the result of climatic variability phenomena throughout the world. This dynamic is significantly altering the yields of different crops such as rice, cocoa and fruit trees, which are part of the productive bets of the department. Currently, the farmer does not have the appropriate technological tools for the management of climate information, which allows making the right decisions in their crops and production systems, to counteract the negative impacts that are generated. Taking into account the importance of information technology in the storage, processing and presentation of data, CeniApp was developed, an application for mobile devices with Android operating system, which is responsible for processing the records and generating the respective graphics of the variables of temperature, soil temperature, wind direction, wind speed and soil humidity recorded by five meteorological stations located in the department and belonging to the CENIGAA Research Center. We conclude that this type of application allows us to deliver information about the climate in real time and accurately, so that all interested people can implement the corresponding actions in their crops.

Palabras Claves— Agrometeorológica, App, temperatura, viento, humedad.

I. Introducción

La Agrometeorología es una ciencia que se encarga de estudiar las condiciones climáticas, meteorológicas, hidrológicas y sus relaciones, con el fin de ayudar a los procesos de producción agrícola [1]. Debe estar en la capacidad de apoyar las diversas adversidades que se presentan con las variables de estudio, para permitir que se obtengan los mejores rendimientos en los cultivos. Es aquí donde cobra una gran importancia porque permite analizar y definir todos los sucesos meteorológicos que ocurren, para aplicar los conocimientos en usos prácticos de la agricultura, con el fin de mejorar la cantidad y la calidad [2].

Durante los últimos años el cambio climático ha despertado un gran interés a nivel mundial, porque está generando impactos negativos en la agricultura, el suministro de agua y el bienestar humano [3][4]. Los cambios de temperatura están provocando evaporación, precipitación y sequía, que se caracteriza por modificar las condiciones normales de las variables, generando un impacto significativo [5]50%, y 80%; porque está afectando la producción agrícola, debido a que retarda el crecimiento de las plantas y afecta negativamente el rendimiento de las cosechas [6].

Actualmente muchos países están implementando servicios y sistemas climáticos que permitan generar información precisa de los diversos fenómenos meteorológicos. Su objetivo es ayudar a la agricultura con el fin de mejorar la infraestructura y la capacidad de gestión frente a los diversos problemas que se puedan presentar [7]. También la aplicación de herramientas como la teledetección con imágenes satelitales y sistemas de información geográfica han sido relevantes para la productividad del agua [8]. Es aquí donde las tecnologías de la información cobran importancia para la agrometeorología, porque permiten realizar herramientas capaces de generar, procesar y difundir la información recolectada de las diferentes variables (temperatura, humedad, radiación) objeto de estudio, para la promoción y prevención de problemas que se pueden presentar en los cultivos [9].

El artículo está compuesto por la arquitectura de software implementada en el App, que permitió la gestión y visualización de los registros para las diferentes variables objeto de estudio. Luego se define la metodología utilizada para el análisis de los datos recolectados. Después se muestran los resultados obtenidos en la investigación, que incluye el análisis de las variables de temperatura, dirección del viento, velocidad del viento y humedad del suelo, recolectadas en cinco estaciones meteorológicas que se encuentran en el departamento del Huila. Finalmente se muestran las conclusiones y los agradecimientos.

II. Arquitectura del software

La App para la gestión y visualización de variables agrometeorológicas incorpora servicios Web y librerías que permiten el procesamiento y la presentación de los datos. Para comprender mejor la solución es necesario conocer la arquitectura implementada en el software, que incluye el patrón arquitectónico Modelo-Vista-VistaModelo -MVVM (figura 1).

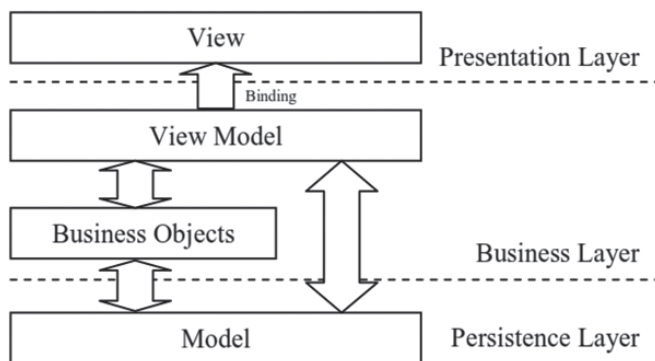


Figura 1. Imagen patrón arquitectónico MVVM [10]

En el Vista encontramos los layout, que son archivos xml en donde se encuentran los elementos gráficos y en donde el usuario genera sus solicitudes. La Vista es la encargada de tomar dichas solicitudes y pasarselas a la VistaModelo que es una clase kotlin que contiene los eventos o comportamientos que se requieren para la realización de los procesos y la gestión con el Modelo. En el modelo se cuenta la lógica de la aplicación, aquí se ejecutan las acciones o servicio definidos para el manejo de los datos o transacciones, que después de terminar su tarea, devuelven una respuesta

que pasa de nuevo por el Modelo, luego a la VistaModelo y finalmente a la Vista, que se encarga de presentársela al usuario [10][11][12].

La arquitectura que se definió para la App, permite realizar las tareas de gestión y visualización de los registros que se encuentran almacenados en la base de datos del servidor de producción.

A. Gestión de los Registros

Para la gestión de los registros se desarrolló un servicio Web con el lenguaje de programación PHP 7.0 y el framework Laravel 5.5. El servicio Web era el responsable de tomar los datos que se encontraba en la base de datos del servidor de producción, filtrarlos y organizarlos en un archivo JSON para que la App los consumiera y los cargara directamente en las respectivas gráficas que fueron definidas para la presentación de los resultados.

B. Visualización de los Registros

Para la visualización, el usuario genera un registro en la App con sus datos personales (nombres, apellidos, email y password), luego ingresa con las credenciales de acceso al menú principal en donde se presenta un mapa con la ubicación de las cinco estaciones agrometeorológicas. Seguidamente el usuario selecciona una estación y de manera automática se desplegaba un segundo menú con los tipos de variables a visualizar (temperatura, temperatura del suelo, dirección del viento, velocidad del viento y humedad del suelo). El usuario selecciona la variable e ingresaba el rango de fecha para la presentación de los resultados y da clic en generar. Finalmente la App genera la gráfica para la variable y el rango de fecha seleccionado.

La App para la visualización de los registros se desarrolló con el lenguaje de programación Java y se utilizaron las librerías Volley y MPAndroidChart. La primera permitió a través de EndPoints realizar la comunicación con el servicio Web y la segunda librería permitió generar las diferentes gráficas de forma dinámica con los registros JSON que fueron suministrados por el servicio Web de gestión de registros.

III. Metodología para el análisis de datos

La método de investigación que se utilizó fue el descriptivo, que implica la observación y descripción del comportamiento para el objeto de estudio

[13]. Su propósito principal es describir la realidad y la relación que existe entre los elementos analizados. Utilizan símbolos comunes como imágenes, gráficas y figuras geométricas, expresadas en un lenguaje preciso y unívoco para la presentación de los resultados [14].

Las variables agrometeorológicas objeto de estudio de esta investigación fueron: la temperatura, la temperatura del suelo, la dirección del viento, la velocidad del viento y la humedad del suelo, que fueron tomadas por cada una de las estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios de Rivera, Isnos, Palestina y Villavieja del departamento del Huila y enviadas a un servidor en la nube donde se almacenaban los datos.

Para el análisis de los datos se tomaron los registros almacenados en la base de datos del 13 de julio de 2017 al 12 de septiembre de 2017, en total 378.797 registros. De la Estación 1 se procesaron 88.128 registros que corresponden al 23.27% del total de los registros; de la Estación 2 se procesaron 83.461 registros que corresponden al 22.03%; de la Estación 3 se procesaron 83.622 registros que corresponden al 22.08%; de la Estación 4 se procesaron 63.840 registros que corresponden al 16.85% y de la Estación 5 se procesaron 59.746 registros que corresponden al 15.77%.

En los resultados se describen los valores mínimos, máximos y promedios encontrados para cada una de las variables descritas anteriormente y se muestran las gráficas generadas por la aplicación móvil CeniApp. El objetivo de estas gráficas es informar al agricultor sobre el comportamiento que pueden tener, con el fin de tomar decisiones frente a sus cultivos que se pueden ver afectados por los problemas que genera la variabilidad climática.

IV. Resultados

Los resultados que se presentan en este documento son registros generados por cinco estaciones meteorológicas, que fueron implementadas por El Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geo Agroambientales – CENIGAA en el departamento del Huila. La estación 1 (AM-01) denominada Florida, se encuentra ubicada en $-75^{\circ}17'47.03''E$ $02^{\circ}47'41.07''N$ en el municipio de Rivera y está implementada para tomar registros al sector piscícola; la estación 2 (AM-02) denominada Guacas, se encuentra ubicada en $-76^{\circ}14'24.05''E$ $01^{\circ}54'34.06''N$ en el municipio de Isnos y se encarga de almacenar registros para el sector de la caña; la estación 3 (AM-03) deno-



Figura 2. Imagen informativa de la estación 5 (AM-05) Potosí – para el sector Arrocerero presentada en la aplicación CeniApp

minada Sinaí, se encuentra ubicada en $-76^{\circ}08'47.70''E$ $01^{\circ}42'24.20''N$ en el municipio de Palestina y se encarga de guardar registros para el sector frutal; la estación 4 (AM-04) denominada La Honda, se encuentra ubicada en $-75^{\circ}24'46.10''E$ $02^{\circ}32'51.90''N$ en el municipio de Rivera y se encarga de tomar registros para el sector del cacao y la estación 5 (AM-05) denominada Potosí, se encuentra ubicada en $-75^{\circ}09'08.99''E$ $03^{\circ}21'52.91''N$ en el municipio de Villavieja y se encarga de almacenar registros para el sector del arroz. Las variables agrometeorológicas que se analizaron en este proyecto fueron: la temperatura, la temperatura del suelo, la dirección del viento, la velocidad del viento y la humedad del suelo.

Temperatura

La primera variable que se procesó fue la temperatura, en cada una de las estaciones se analizó el valor mínimo, máxima y promedio registrada para el rango de fecha seleccionado y se encontró que en la Estación 1 la temperatura mínima fue de $20.3^{\circ}C$, la máxima fue de $38.66^{\circ}C$ y la promedio $27.72^{\circ}C$; para la Estación 2 la temperatura mínima fue de $10.03^{\circ}C$, la máxima de $25.93^{\circ}C$ y la promedio fue $17.03^{\circ}C$; para la Estación 3 la temperatura mínima fue de $9.42^{\circ}C$, la máxima fue de $25.84^{\circ}C$ y la promedio $17.08^{\circ}C$; para la Estación 4 la temperatura mínima fue de $19.71^{\circ}C$, la máxima fue de $47.7^{\circ}C$ y la promedio $29.13^{\circ}C$; para la Estación 5 la temperatura mínima fue de $16.94^{\circ}C$, la máxima fue de $37.45^{\circ}C$ y la promedio $24.85^{\circ}C$.

Temperatura del Suelo

La segunda variable procesada fue la temperatura del suelo, que se analizó en sus valores mínimo, máximo y promedio para cada sensor; es im-

portante aclarar que cada estación meteorológica cuenta con cuatro sensores para la toma de los registros. En el análisis de la variable se encontró que para la Estación 1 el valor mínimo registrado fue 22.84°C correspondiente al sensor 1, la temperatura máxima encontrada fue 44.35°C para el sensor 1 y la promedio fue 31.22°C para los sensores 2, 3 y 4; en la Estación 2 se encontró que la temperatura mínima fue de 14.58°C correspondiente al Sensor 1, la temperatura máxima fue de 22,67°C para los sensores 2, 3, 4 y la temperatura promedio fue de 20,15°C para los sensores 2, 3, 4; en la Estación 3 se encontró que la temperatura mínima fue -1.51°C para el sensor 1, la temperatura máxima fue de 23,78°C para el sensor 1 y la promedio fue 15,4°C para los sensores 2, 3 y 4; en la Estación 4 se encontró que la temperatura mínima fue de 24,12°C para en sensor 1, la temperatura máxima fue de 21.91°C para los 4 sensores y la temperatura promedio fue 34,77°C para los cuatro sensores y finalmente para la Estación 5 se encontró que la temperatura mínima fue de 20.47°C para el sensor 1, la máxima fue 29,81°C para los sensores 1, 2, 3 y la promedio fue de 26,4 °C para los sensores 2, 3 y 4.



Figura 3. Imagen de la gráfica de Temperatura del Suelo generada por la aplicación CeniApp

Dirección del Viento

La tercera variable que se procesó fue la dirección del viento, aquí se analizó la dirección mínima, máxima y promedio de cada una de las estaciones y los resultados que se encontraron fueron los siguientes. Para todas las estaciones la dirección de viento mínima fue de 0N y la máxima fue de 344,32N, pero la dirección promedio si cambio para cada estación. Para la Estación 1 su promedio fue 192,21N; en la Estación 2 su promedio fue 183,6N; en la Estación 3 su promedio fue 178,08N; en la Estación 4 su promedio fue 141.78N y en la Estación 5 su promedio fue 198,36N.

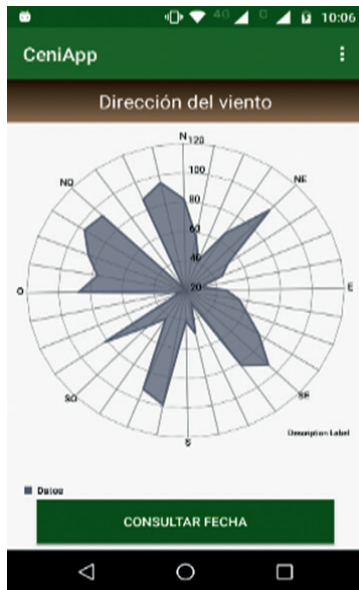


Figura 4. Imagen de la gráfica de Dirección de Viento generada por la aplicación CeniApp

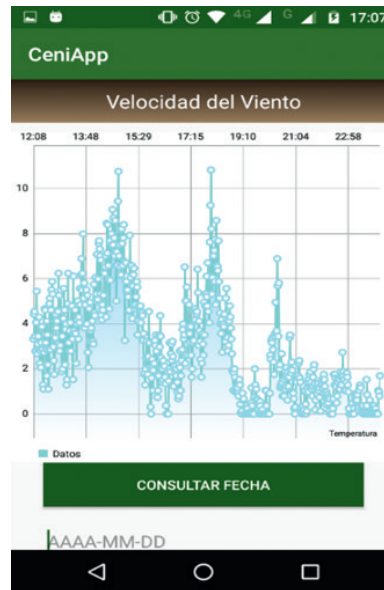


Figura 5. Imagen de la gráfica de Velocidad de Viento generada por la aplicación CeniApp

Velocidad del Viento

La cuarta variable que se procesó fue la velocidad del viento, para esta variable se analizó la velocidad mínima, máxima y promedio registrada para cada estación. En todas las estaciones la velocidad mínima fue de 0m/s; para la Estación 1 la velocidad máxima fue 35.62m/s y la promedio 6.39m/s; en la Estación 2 la velocidad máxima fue 20.53m/s y la promedio fue 3,58m/s; para la Estación 3 la velocidad máxima fue 51.32m/s y la promedio 6.01m/s; en la Estación 4 la velocidad máxima fue 31.27m/s y la promedio 3.58m/s y en la Estación 5 la velocidad máxima fue 16.42m/s y la promedio 1.59m/s.

Humedad del Suelo

La quinta variable que se procesó fue la humedad del suelo, con respecto a esta variable se analizó la humedad mínima, máxima y promedio para cada uno de los cuatro sensores que tiene cada estación meteorológica. En las estaciones 1, 2, 3 y 5 el valor mínimo fue 0mB, mientras que en la Estación 4 el valor mínimo fue 30.76mB. Con respecto a la humedad máxima y



Figura 6. Imagen de la gráfica de Humedad del Suelo generada por la aplicación CeniApp

promedio se encontró que en la Estación 1 la humedad la máxima fue 200mB y la promedio fue 180.84mB; en la Estación 2 la humedad máxima fue 40.03mB y la promedio fue de 2.45mB; en la Estación 3 la humedad máxima fue 26.12mB y la promedio fue 1.63mB; en la Estación 4 la humedad máxima fue 200mB y la promedio fue 188.95mB y en la Estación 5 la humedad máxima fue 200mB y la promedio fue 8.7mB.

V. Conclusiones

Con el desarrollo de la aplicación móvil CeniApp se puede concluir que las temperaturas existentes y la velocidad del viento, que se visualizan en las gráficas pueden presentar rangos diferentes [15], esto se debe a la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas.

Aunque cada estación meteorológica tiene cuatro sensores para la medición de la temperatura del suelo, al realizar el seguimiento de los registros se observa que tres de ellos muestran la misma temperatura a excepción del primero, esto se debe a que el sensor no está calibrado y guarda registros en la base de datos que no son reales.

Con la dirección del viento se puede concluir que para las cuatro estaciones los valores mínimos y máximos son constantes (el valor mínimo siempre es 0N y el valor máximo siempre es 344.32N), esto se debe a que a los sensores están diseñados para registrar la dirección del viento entre esos rangos.

Para registrar la humedad del suelo se tienen cuatro sensores por estación meteorológica, pero de los cuatro sensores solo se están utilizando los tres primeros y los registros que se analizaron en la base de datos son muy ambiguos, esto se debe a que los sensores de humedad se montaron en las estaciones pero nunca fueron calibrados para el almacenamiento de los datos.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geo Agroambientales CENIGAA, por sus contribuciones a este producto, por las asesorías ofrecidas durante el desarrollo del proyecto, por el acceso a los datos que son el insumo de los resultados presentados en este documento y por permitir realizar una alianza de trabajo entre el grupo de investigación INPROTI del programa de Ingeniería de Sistemas de la Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA.

Referencias

- [1] Departamento de Agronomía - Universidad Nacional del Sur, "Cátedra de Agrometeorología." [Online]. Available: <http://agrometeorologia.criba.edu.ar/>. [Accessed: 12-Mar-2019].
- [2] José Carlos Cardoso., "Parlamento Latinoamericano y caribeño." [Online]. Available: <http://parlatino.org/pdf/comisiones/agricultura/exposicion/xv-agrometeorologia-pma-24-mar-2011.pdf>. [Accessed: 12-Mar-2019].
- [3] K. P. Kaliyamurthie, R. Udayakumar, D. Parameswari, and S. N. Mugunthan, "Highly secured online voting system over network," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 6, no. SUPPL.6, pp. 4831–4836, 2013.
- [4] A. Capra, S. Consoli, and B. Scicolone, "Long-Term Climatic Variability in Calabria and Effects on Drought and Agrometeorological Parameters," *Water Resour. Manag.*, vol. 27, no. 2, pp. 601–617, 2013.
- [5] M. E. Moeletsi and S. Walker, "Assessment of agricultural drought using a simple water balance model in the Free State Province of South Africa," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 108, no. 3–4, pp. 425–450, 2012.
- [6] D. H. Kazmi and G. Rasul, "Agrometeorological wheat yield prediction in rain-fed Potohar region of Pakistan," *Agric. Sci.*, vol. 03, no. 02, pp. 170–177, 2012.
- [7] S.-W. Choi, S.-J. Lee, B.-C. Choi, K.-R. Kim, J. Kim, and B.-L. Lee, "Agrometeorological Observation Environment and Periodic Report of Korea Meteorological Administration: Current Status and Suggestions," *Korean J. Agric. For. Meteorol.*, vol. 17, no. 2, pp. 144–155, 2015.

- [8] A. H. de C. Teixeira, D. C. Victoria, R. G. Andrade, J. F. Leivas, E. L. Bolfe, and C. R. Cruz, "Coupling MODIS images and agrometeorological data for agricultural water productivity analyses in the Mato Grosso State, Brazil," vol. 9239, p. 92390W, 2014.
- [9] B. O. Olivares, A. Cortez, A. C. Muñetones, and S. Casana, "Elementos Estratégicos De La Gestión Del Conocimiento Organizacional Para La Innovación. Caso: Red De Agrometeorología," *Rev. Digit. Investig. en Docencia Univ.*, vol. 10, no. 1, p. 68, 2016.
- [10] B. Gao, S. Zhang, and N. Yao, "A Multidimensional Pivot Table Model Based on MVVM Pattern for Rich Internet Application," in *2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control*, 2012, pp. 24–27.
- [11] A. Syromiatnikov and D. Weyns, "A Journey through the Land of Model-View-Design Patterns," in *2014 IEEE/IFIP Conference on Software Architecture*, 2014, pp. 21–30.
- [12] X. Li, D. Chang, H. Pen, X. Zhang, Y. Liu, and Y. Yao, "Application of MVVM design pattern in MES," in *2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015, pp. 1374–1378.
- [13] Shuttleworth Martyn, "Diseño de Investigación Descriptiva," 2008. [Online]. Available: <https://explorable.com/es/disenio-de-investigacion-descriptiva>. [Accessed: 05-May-2018].
- [14] V. M. Niño Rojas, *Metodología de la investigación: diseño y ejecución*. 2011.
- [15] UPPSALA UNIVERSITET, "Linné on line – Linnaeus' thermometer," 2008. [Online]. Available: http://www2.linnaeus.uu.se/online/life/6_32.html. [Accessed: 05-May-2018].

Saberes emergentes para la cuarta revolución industrial fue editado por el sello editorial Corhuila. Todos los capítulos que lo integran fueron sometidos a un proceso de evaluación disciplinar y ulterior obtención de conceptos aprobatorios. Este volumen cumple con los requisitos exigidos por Colciencias para ser validado como libro de investigación de nuevo conocimiento.

