

Revista **SENNOVA**



Vol. 1, No. 1, enero-junio de 2014

ISSN: 2389-9573

Más trabajo

A collage of images related to a laboratory or industrial setting. It includes a solid orange square, a person in a blue hairnet, a person in a white lab coat and safety glasses, a hand in a blue glove using a pipette, a hand in a white glove holding a test tube, and a hand in a blue glove holding a beaker with orange liquid.

**Nuevo conocimiento
y tecnologías**
para la industria colombiana
y el mundo del trabajo

Producción pecuaria
Agroindustria
TIC aplicada a la industria
Mecánica
Industria y biotecnología



Más trabajo

Nuevo conocimiento y tecnologías para la industria colombiana y el mundo del trabajo



Más trabajo

Revista SENNOVA
ISSN: 2389-9573
Periodicidad: Semestral
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Dirección General
Dirección de Formación Profesional
Sistema de Gestión Estratégica de la Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA)

Calle 57 No. 8-69 piso cuarto, Torre Central
Teléfono: 57 (1) 546 1500, exts. 12903-12485
E-mail: revistainnovacion@sena.edu.co
[http://www.sena.edu.co/oportunidades/formacion/Paginas/Sistema-de-Investigacion-Desarrollo-Tecnologico-e-Innovacion-del-SENA-\(SENNOVA\).aspx](http://www.sena.edu.co/oportunidades/formacion/Paginas/Sistema-de-Investigacion-Desarrollo-Tecnologico-e-Innovacion-del-SENA-(SENNOVA).aspx)
www.sena.edu.co

Bogotá, D. C., Colombia

**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA
DIRECCIÓN GENERAL**

Alfonso Prada Gil

Director General del SENA

Gina María Parody D´Echeona

Directora General del SENA (2013-2014)

Natalia Ariza Ramírez

Directora de Formación Profesional

Carlos Lugo Silva

Coordinador del Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) y Coeditor de la Revista

Miguel Ángel Manrique Ochoa

Asesor del Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) y Editor de la Revista

EQUIPO SENNOVA

**Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación**

Adriana Mercedes Bermúdez

Ángela Patricia Charry López

Belén Borrero Durán

Camilo Andrés Osorio

Fernando Pérez Moreno

Francisco Javier Reyes Farak

Francisco José Pérez Torres

Gustavo Adolfo Chacón

Gustavo Vicente Vargas Yara

Íngrid Méndez Cantillo

Kelly Johanna Sarmiento Gil

Lizeth López Segura

Luis Alberto Ibarra

Luz América Malagón

María Paola Pérez Morón

Mike Jónathan Silva Ferro

Nancy Briceño Moreno

Nefretery Murcia

Nubia Stella Marroquín del Río

Yensy Carolina Gómez

Yolanda Gómez Fresneda

COMITÉ CIENTÍFICO

Prof. Dr. Herrn Tippelt

Profesor y Director del Instituto de Educación de la Ludwig-Maximilians,
Universidad de Múnich, Alemania

Prof. Dr. Aiga von Hippel

Profesora e investigadora en Educación en el Departamento de Estudios
en Educación de la Universidad de Berlín, Alemania

Carolina Caicedo Cano

Ph.D. en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Investigadora del Centro
Astin del Servicio Nacional de Aprendizaje, Cali, Colombia

Andrés Alarcón Ramírez

Ph.D. en Ingeniería Eléctrica y de Computadores. Profesor de planta de
la Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia

Dan Harry Barragán

Ph.D. en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria (materiales poliméricos).
Investigador posdoctoral en el Departamento de Hortofruticultura
Botánica y Jardinería de la Universidad de Lleida, España

Ittalo Pezzotti

Ph.D. en Ingeniería de Sistemas Sensoriales y de Aprendizaje. Ingeniero
informático del Instituto de Tecnología Biomédica del Consejo Nacional
de la Investigación, Milán, Italia

COMITÉ EDITORIAL

Lina Marcela Agudelo

Ph.D. en Química Industrial. Docente de la Universidad de Buenos Aires
e investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Técnicas (Conicet), Buenos Aires, Argentina

Diana Blach Vargas

Ph.D. en Ciencias Químicas. Docente en Química General, Química
Inorgánica, Química Orgánica y Técnicas Bromatológicas, Departamento
de Química, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Cristian Camilo Villa Zabala

Ph.D. en Ciencias Químicas. Auxiliar de Docencia en Química General
y Química Analítica en la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba,
Argentina

Martha Andrea Merchán Merchán

Ph.D. en Química y Tecnología de Materiales. Docente e investigadora
Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

María Patricia Rodríguez Rojas

Ph.D. en Ingeniería de Procesos y Ambiente. Docente tiempo completo
en la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia

Juan Eduardo Domínguez Delgado

Ph.D. en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Senior Package Quality and
Reliability Engineer en Intel, California, EE. UU.



La *Revista SENNOVA* es una publicación del Sistema de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA para fortalecer y visibilizar la investigación en Colombia.

Misión: publicar artículos de alta calidad científica para promover y divulgar los resultados de la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación, enfocados hacia la industria.

Visión: establecer un intercambio científico activo a escala local, regional y global.

Evaluación de artículos: la *Revista SENNOVA* cuenta con un sistema de evaluación a ciegas conformado por expertos académicos e investigadores de trayectoria en el campo de estudio de la investigación. Todos los manuscritos serán leídos por el equipo editorial para su aprobación.

Se autoriza, para fines académicos, la reproducción de artículos y contenidos de la *Revista SENNOVA*, citando la fuente.

Revista SENNOVA is a publication from the SENA Strategic Management System for Research, Technological Development and Innovation to strengthen and visualize research in Colombia.

Mission: *Revista SENNOVA* seeks to publish high-quality scientific papers in order to promote and divulge applied research, technological development and innovation results focused on national industry.

Vision: Establish a local, regional, and global active scientific exchange.

Article evaluation: Several academic experts, and researchers form *Revista SENNOVA* with impeccable career paths in the research study field. All the manuscripts will be read by the editorial team for approval without any information of the authors.

For academic purposes, article and contents reproduction of *Revista SENNOVA* is authorized, citing the source.

CONTENIDO

Editorial	7
Producción pecuaria	11
Determinación de destete óptimo en lechones (<i>sus scofra domesticus</i>), en la unidad porcícola del Centro Agropecuario de Buga <i>Adrián Rolando Riscos Vallejos, Clara Inés Orozco Grajales, Diego Fernando Losada</i>	12
Efecto de dos diluyentes a base de lecitina de soya, sobre parámetros morfométricos en semen caprino <i>Leonardo Hernández-Corredor, Jesús Dorado, Armando Quintero-Moreno, Isabel Ortiz, Antonio Buzón, Marlín Corzo, Manuel Hidalgo</i>	30
Agroindustria	45
Optimización simultánea en filtros rotatorios al vacío para reducción del contenido de sacarosa y humedad en cachaza <i>Elizabeth Narváez Toro, Luz Elena Vinazco Isaza, Gustavo Torres Muñoz, Jairo Guerrero Bueno</i>	46
Fuentes de variación que tienen efecto sobre los atributos sensoriales de taza en sistemas agroforestales de café (<i>Coffea arabica</i>) en el sur de Colombia <i>Engelberto Rodríguez Burgos, Juan Carlos Suárez Salazar, Gustavo Adolfo Vega Cano</i>	64

Las TIC aplicadas a la industria	79
Desarrollo de una herramienta en MATLAB para sintonización de controladores PID utilizando algoritmos genéticos basado en técnicas de optimización multiobjetivo <i>Brayan René Acevedo Jaimes, Juan Camilo Fonseca Galindo, July Andrea Gómez Camperos.....</i>	80
Mecánica.....	105
Diseño y construcción de una herramienta manual para corte de tallos maderosos en la industria floricultora de la sabana de Bogotá <i>Galmher Arnold Castillo Díaz</i>	106
Desarrollo de un dispositivo de parada súbita para procesos de taladrado <i>Rolf Bertrand Schroeter, Bruno Sbravati, Diego Alejandro Neira Moreno</i>	126
Industria y biotecnología.....	147
Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celololíticos y lignolíticos a partir del suelo de humedales de Bogotá <i>Sonia Marcela Buitrago Morales, Etna Milena Sánchez Castelblanco, Henry Johan Guerrero Suárez.....</i>	148
Extracción e identificación de microorganismos asociados al cultivo del ají (<i>capsicum annum</i>) en La Mesa, Cundinamarca <i>Óscar Fradique Escobar Pardo.....</i>	156

EDITORIAL

El Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA es la institución de formación profesional más importante de Colombia, con 116 centros de formación, 15 tecnoparques y 3 tecnoacademias, en donde se imparten programas de formación para el trabajo y la educación superior. En el portafolio de programas de educación superior se desarrollan los niveles de tecnólogos y especializaciones tecnológicas, bajo un modelo de formación por proyectos que incentiva la incorporación de la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico en el desarrollo de las habilidades y competencias de nuestros aprendices.

El modelo de SENNOVA, como sistema de investigación del SENA, parte de la generación de procesos de apropiación social de ciencia, tecnología e innovación, desde las diferentes actividades de cultura de la innovación y por medio de las tecnoacademias, en las cuales se incentiva el enriquecimiento científico y tecnológico de los jóvenes de 8° y 9°, fundamentalmente, generando el semillero de futuros técnicos y tecnólogos del SENA.

El Sistema SENNOVA continúa con los procesos de gestión de la investigación aplicada en los grupos de investigación, de diferentes sectores y sus semilleros. Actualmente, el SENA cuenta con más de 50 grupos institucionales en proceso de fortalecimiento, gracias a las convocatorias internas de recursos para financiar proyectos de investigación y al apoyo a las actividades de divulgación y apropiación social de la ciencia y la tecnología.

La estrategia de gestión del conocimiento del SENA, como componente del Plan Estratégico Institucional, ha identificado los fundamentos que permiten impulsar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación para la pertinencia y calidad de la formación profesional impartida. La Ley 119 de 1994 le asigna al SENA el objetivo de participar en actividades de investigación y desarrollo

tecnológico, ocupacional y social que contribuyan a la actualización y mejoramiento de la formación profesional integral. Asimismo, el Decreto 585 de 1991 dispuso para el SENA la función de adelantar actividades de formación profesional con reglas vigentes, dirigida a transferir tecnologías de utilización inmediata en el sector productivo, a realizar programas y proyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, y a orientar la creatividad de los trabajadores colombianos.

En el SENA el desarrollo tecnológico es importante, toda vez que al ampliarse la frontera de la tecnología se impacta las técnicas que se ofrecen en los procesos de aprendizaje de los programas técnicos y tecnológicos; por esta razón, en los 129 laboratorios y los 15 tecnoparques se fomenta el desarrollo de prototipos funcionales y emprendimientos de base tecnológica para lograr los objetivos del sistema. De igual forma, con los proyectos desarrollados en alianzas con el sector productivo se incrementa la capacidad de las empresas colombianas de innovar.

La *Revista SENNOVA* responde a la nueva etapa de calidad y pertinencia que está afrontando el SENA. Desde que se implementó este nuevo sistema de investigación e innovación, los proyectos que buscan aplicar los conocimientos, desarrollar nuevas tecnologías e innovar productos, procesos y servicios se han incrementado de forma progresiva. En 2014, 41 centros de formación profesional desarrollaron proyectos de investigación aplicada en diferentes redes de conocimiento, los cuales generaron nuevos conocimientos que deben ser disseminados.

Desde la Dirección General del SENA decidimos publicar un medio de divulgación científica y tecnológica, enfocado a la industria, en sus diferentes sectores económicos. Esta revista institucional se presenta al público académico colombiano con resultados de importantes investigaciones en diferentes sectores de la industria, realizadas en el SENA y en otras instituciones universitarias y tecnológicas colombianas y extranjeras.

Ponemos a disposición un nuevo tiempo para el SENA y para la formación profesional del país, ampliando el conocimiento

y contribuyendo con ello al desarrollo productivo de Colombia. Cada artículo publicado en esta revista ha sido revisado por pares académicos expertos en los diferentes temas y por el Comité Editorial, que ha puesto todo su empeño para seleccionar lo mejor del material enviado e imponiendo un estilo único con un solo norte: el desarrollo de las diferentes industrias colombianas.

CARLOS LUGO SILVA
Coordinador General de SENNOVA





Producción **pecuaria**

Determinación de destete óptimo en lechones (*Sus scofra domesticus*) en la Unidad Porcícola del Centro Agropecuario de Buga

***Determination for optimal weaning in piglets
(Sus scofra domesticus) in the pig breeding unit
at the farming center from Buga***

Adrián Rolando Riascos Vallejos, zootecnista, magíster en Ciencias Agrarias - Instructor del SENA. Gestor de la Unidad Porcícola del CAB
rolando.riascos@gmail.com

Clara Inés Orozco Grajales, aprendiz Tecnología en Gestión de Empresas Agropecuarias - Centro Agropecuario de Buga
orozco.22@misena.edu.co

Diego Fernando Losada, aprendiz Tecnología en Gestión de Empresas Agropecuarias, líder de granja y líder pecuario del CAB
difer28@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro Agropecuario de Buga (CAB)
Regional Valle

FECHA DE RECEPCIÓN: 1 DE ABRIL DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 16 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

La investigación se realizó en la granja porcícola del Centro Agropecuario de Buga-SENA, ubicada en el municipio de Guadalajara de Buga (altitud: 950 m s. n. m., temperatura promedio: 25 °C. Distante 115 km de Santiago de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca). El objetivo de la presente investigación fue determinar la edad óptima del destete de lechones (*Sus scrofa domesticus*) en la Unidad Porcícola del Centro Agropecuario de Buga bajo las condiciones ambientales existentes en la granja, evaluando las variables ganancia de peso diaria, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad.

Se realizaron tres tratamientos con dos repeticiones, destetes de 21, 28, 35 días, durante un periodo de 30 días, utilizando 60 lechones (landrace x pietrain). En la etapa de precebos, el alimento suministrado fue elaborado en la Unidad, cumpliendo con el requerimiento nutricional en esta etapa.

Se utilizó un diseño experimental irrestrictamente al azar y un análisis estadístico (Andeva). Se efectuó con el programa Statgraphics Centurion XV-II, para establecer cuál de los tratamientos obtuvo los mejores resultados. Se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos para las variables consumo de alimento y ganancia diaria de peso, llevados a 30 días en la etapa de precebos, a favor del tratamiento de destete a 35 días; para las variables conversión alimenticia y mortalidad no se encontró diferencia significativa ($P > 0,05$) entre los tratamientos. El análisis parcial de costos obtuvo pérdidas para los tratamientos a los 21 y 28 días en la fase de precebos, mientras que para el tratamiento a los 35 días el análisis de costos evidenció los mejores resultados.

Palabras clave: destete, lechón, sólido, leche materna.

ABSTRACT

The research was conducted at the porcine farm of the SENA Agricultural Center in Buga, located in the municipality of Guadalajara de Buga, a city with an elevation of 950 m.

above sea level, a daily average temperature of 25 °C, and 115 km away from Santiago de Cali, the capital city of the Valle del Cauca department. The aim of this research was to determine the optimal weaning age for piglets (*Sus scofra domesticus*) in the previously mentioned farm under existing environmental conditions, evaluating variables such as daily weigh gain, feed intake, feed conversion and mortality rate. Three different treatments with two repetitions each were performed, with weaning at 21, 28 and 35 days, during a period of 30 days manipulating 60 piglets (landrace x pietrain) in the post-weaning stage. Piglets were supplied with creep feed prepared in the farm according to the nutritional requirements at this stage.

An experimental design was used unrestrictedly in a random way and a statistical analysis (Anova) was performed with the Statgraphics program to establish the treatment with best results. A significant difference ($P < 0.05$) among treatments for the variables feed intake and daily weight gain was found, with piglets led to 30 days in the post-weaning stage; a difference in favor of the treatment for weaning at 35 days. For the feed conversion and mortality variables, no significant difference ($P > 0.05$) among treatments was found. The partial cost analysis estimated losses for treatments at 21 and 28 days, while the treatment at 35 days cost analysis showed the best results.

Keywords: Weaning, Piglet, Solid, Breast Milk.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la explotación porcina como fuente de ingreso de la economía colombiana ha hecho que se desarrollen mejores prácticas de manejo para aumentar el número de partos por cerda/año; una de estas es reduciendo la lactancia con el propósito de incrementar la tasa de reproductoras y lograr un aumento de la productividad (Guerrero, González, Díaz, Hurtado & Vecchionacce, 2007). Este manejo está relacionado con la edad del destete, considerado uno de los momentos más difíciles en la vida de un lechón, ya que es alejado de su madre y se enfrenta a nuevas condiciones ambientales y nutricionales (Maglioni, 2007).

Sobre destete en lechones existen numerosas investigaciones (Guerrero, González, Díaz, Hurtado & Vecchionacce, 2006), todas con la finalidad de definir cuál es la edad óptima para realizar esta práctica. Se sostiene que un buen destete depende de varios factores, como la ubicación y las condiciones ambientales de cada ejemplar. Gómez, Ortega & Becerril (2009) afirman que el éxito durante esta fase depende de factores como el ambiente, salud de los lechones, prácticas de manejo y nutrición adecuada.

Una de las limitantes en la granja porcícola del Centro Agropecuario de Buga es que no se ha estable-

cido la edad óptima de destete, la cual afecta al número de lechones destetados por cerda/año, en detrimento de otros indicadores económicos. De igual manera, el estrés posdestete genera constantes diarreas, aunado al cambio de alimentación y la baja aceptación del alimento en los primeros días posteriores al destete.

El propósito de esta investigación fue determinar la edad óptima del destete de lechones en la granja del Centro Agropecuario de Buga, trabajo en el que se evaluaron ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad. Asimismo, se hizo un análisis parcial de costos para determinar la mejor edad del destete.

1. Marco conceptual

El destete implica la separación del lechón sin acceso a la leche proveniente de su madre (Gómez, 2008); en este acto el lechón sufre unos cambios drásticos, ya que pasa de una alimentación líquida (leche materna) altamente digestible y muy bien acoplada a las enzimas del tubo digestivo del lechón a una alimentación sólida (concentrado) elaborada a base de cereales (fuente de almidón) y de proteínas de origen vegetal (Souza T. M., 2012). De la misma manera, la forma física de la alimentación influye en la tasa de consumo voluntario; la finura de molienda promueve la digestibilidad, aumentando el área de superficie

accesible por las enzimas, pero la exposición al polvo puede disminuir o aumentar la ingesta de desperdicio (Grimbeek, 2004).

El lechón destetado también se enfrenta a otros factores, como el cambio de corral, temperatura y nuevos integrantes en el corral; estos factores ocasionan estrés, lo cual hace alterar profundamente la respuesta inmune y la fisiología con una estimulación subsiguiente de patógenos infecciosos (Amelia J. Gibson, 2013). Igualmente, afecta el consumo de alimento, la ganancia de peso, también puede ocasionar trastornos gastrointestinales, incluso la muerte (Cervantes, Morales, Avelar, Barrera, Araiza & Cervantes, 2009). Por tal motivo, el lechón debe adaptarse con rapidez a todos estos factores de estrés, a fin de ser productivo y eficiente, ya que si no se adapta, podría incrementar los porcentajes de mortalidad (Campbell, Crenshaw & Polo, 2013).

1.1 Influencia del medio ambiente sobre el destete

El medio ambiente (temperatura, humedad, ventilación, luz y sol) es fundamental para determinar la edad adecuada del destete, ya que influye en el crecimiento del lechón, como dice González (2005): “Un animal con un medio desfavorable gasta de sus reservas nutritivas para acoplarse a ese medio, reservas que de otro modo irían a destinarse a la producción”.

Paulino (2006) argumenta que la temperatura crítica alta no es el problema serio para los cerdos recién destetados, pero la temperatura baja, específicamente cuando los pisos están mojados y existen corrientes de agua. Albarracin C. (2003) recomienda que en clima frío se use calefacción permanente, utilizando lámparas de 250 W a 50 cm del suelo. Según Paramio y otros (2009), la temperatura en la nave de transición debe estar entre los 25 y los 28 °C; asimismo, las instalaciones que serán utilizadas en esta área deben proporcionar un ambiente adecuado para los lechones, ya que esta etapa es la más complicada y están expuestos a presentar altas posibilidades de traumatismos, tanto físicos como psicológicos, causados por el destete (Contreras y otros, 2008).

1.2 Influencia que tiene la alimentación sobre el destete

Uno de los aspectos más importantes para implementar un buen destete está directamente relacionado con la alimentación, ya que en los primeros días después del destete los lechones no consiguen ingerir la cantidad de alimento para atender las necesidades de nutrientes (Wilson Castillo Soto & Trindade Neto, 2007). El crecimiento se reduce con bajo consumo de alimento. En general, los cerdos pierden alrededor de 100-250 g de peso corporal (PC) el primer día después del destete, independientemente de la edad de

destete, y recuperan esta pérdida en aproximadamente cuatro días posdestete (Joy M. Campbell, 2013).

La actividad enzimática en el tracto digestivo del cerdo joven cambia dramáticamente durante las primeras 6-8 semanas después del nacimiento, y la tasa de desarrollo de enzimas digestivas depende de la edad del destete, estado de salud y medio ambiente. La alimentación que se le suministra (Bryant, 2006) implica una disminución de peso en estos primeros días; por tal motivo es importante tener un buen manejo antes de realizar el destete, como el de suministrar de 50 a 100 g de alimento una semana antes (Campadabal, 2006), ya que el lechón se va acostumbrando a la dieta sólida y posteriormente mejora el rendimiento en la etapa de precebos. Dong & Pluske (2007) da a entender que los cerdos lactantes que se alimentan simultáneamente con dietas sólidas desarrollan mejor

el tracto digestivo, lo cual ayuda a enfrentar el cambio en la dieta después del destete.

Otro aspecto importante es el suministro de varias raciones de alimento en el día para estimular el apetito (Souza & Landin, 1997). La presencia de un comedero y la renovación del alimento son necesarias para estimular el comportamiento exploratorio del lechón; de igual manera, el aumento del consumo de pienso durante la primera semana posdestete mejora el rendimiento durante todo el ciclo hasta la finalización (Roura, 2004).

Los lechones en esta etapa tienen un mayor requerimiento nutricional (Viggo, 2009), por tal motivo la dieta para lechones debe formularse con cuidado para garantizar un equilibrio óptimo de proteínas, carbohidratos, grasas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales (Tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos nutricionales en lechones destetados

Fase	Preinicial
Peso vivo, kg	6-15
E. metabolizable, kcal/kg	3,325
Proteína, %	21,00
Calcio, %	0,825
Fósforo disponible, %	0,450
Fósforo total, %	0,650
Sodio, %	0,230
Lisina, %	1,330
Metionina, %	0,372
Arginina, %	0,559

Fuente: Rostagno, y otros, 2005.

García Contreras, Loera Ortega, Yagüe, Guevara & García (2012) afirman que el consumo debe ser restringido temporalmente en la primera semana para evitar excesos que induzcan la aparición de diarrea, una enfermedad multifactorial que afecta a los cerdos en las dos primeras semanas después del destete, alcanzando el 10% de mortalidad, además de causar una mayor destrucción, retraso en el desarrollo y la adquisición de medicamentos (GJMM Lima, 2009).

Por otra parte, el consumo de agua es muy importante. La dosis máxima de alimentación en cerdos depende en gran medida del suministro de agua adecuado y de calidad. Una cantidad insuficiente se asocia con avance reducido de ingesta, mala ganancia diaria, mala conversión alimenticia y menor digestibilidad (Elizabeth Magowan, 2007). Algunos lechones pueden deshidratarse, lo que les altera la homeostasis, afecta el apetito, la tasa de crecimiento y los hace más susceptibles a enfermedades (Alltech Pig, 2013), porque sus sistemas inmunes no son completamente funcionales. El desafío consiste en proteger a estos lechones frente a antígenos en el medio ambiente (Amy Hensley y CM Wood, 2002).

Por otra parte, el alimento sólido, nuevo para el lechón, se suministra antes y después del destete, el cual debe aprender a consumir rápidamente. Para alcanzar este logro se

requiere proveer dietas y estrategias de alimentación adaptadas a la capacidad digestiva del cerdo, ya que no está capacitado para digerir carbohidratos, proteínas de origen vegetal y grasa no emulsionadas (Reis T. S., 2009).

El tracto gastrointestinal (TGI) pasa por un largo proceso de adaptación, debido a que no estaba preparado para digerir nuevos nutrientes; este cambio de alimento causa atrofia en la vellosidad intestinal, lo cual modifica la estructura, función e integridad del intestino, debido a que hay una disminución del tamaño de las vellosidades; lo anterior está asociado a una disminución en el consumo (Allee & Touchette, 2009) (Dong & Pluske, 2006) y a una reducción en la capacidad y absorción de nutrientes, que contribuye a diarreas (Pig, 2006) (Montoya, López & Par, 2012).

1.3 Edad del destete

El destete natural en los cerdos es un proceso gradual que no puede ser definido como un periodo específico; es más bien un cambio desde la dependencia de la leche de la cerda a una dependencia de otros alimentos (Anna K. Johnson, 2014). Se efectúa entre los 18 y 21 días, siempre y cuando se cumpla con un peso mínimo de 5,5 kg (Riascos Vallejos & Taramuel Caicedo, 2008); esta práctica aumenta los lechones por cerda/año, lo cual incrementa la producción y

la rentabilidad de la explotación porcícola. Para efectuar el destete se debe manejar bien la cerda para que el lechón pueda enfrentarse al nuevo entorno. La reducción en el periodo de lactancia se ha logrado con mejoramiento de los planes de sanidad, alimentación y manejo que buscan aprovechar a la cerda hasta que alcanza el máximo de producción de leche (Torres & Hurtado, 2007).

Para el destete a los 21 días el lechón cuenta con 5,5 a 6,0 kg de peso vivo (González, 2005). Este destete puede ser eficiente, siempre y cuando tenga unas condiciones de manejo adecuadas y los lechones no se desteten con pesos menores a los 5 kg (Gómez, 2008); con este sistema se obtienen más lechones/cerda/año (Rodríguez, 2011). Esta técnica es la más frecuente en las explotaciones porcinas. Para el destete a los 28 días el lechón cuenta con 7,5 a 8,0 kg de peso vivo; se afronta el destete con una fisiología más desarrollada ya que puede producir su propia actividad inmunitaria en cantidades adecuadas (Medel, 2005), pero aumenta la posibilidad de enfermedades de transmisión vertical (de madre a hijo). En el destete a los 35 días el lechón cuenta con 9,0 a 9,5 kg de peso vivo; el inconveniente es la lactación tan prolongada, agotamiento de la cerda, presentando un celo posdestete tardío y una baja tasa de ovulación y por tanto baja pro-

lificidad (Rodríguez, 2011). Los lechones destetados más tarde tienen un sistema inmunitario más desarrollado y complejo (Mejía *et al.*, 2012). Por tanto, cualquier estrés, digestivo o de manejo, no va a afectar al lechón en momentos críticos desde un punto de vista inmunitario (Medel, 2005).

2. Diseño metodológico

El estudio se llevó a cabo desde marzo hasta agosto del 2013 en la granja porcícola del Centro Agropecuario de Buga, ubicada en el municipio de Guadalajara de Buga –950 m. s. n. m., temperatura promedio 25 °C, humedad relativa fluctuante entre 65%-75% (IDEAM, 1967-1997), a 115 km de Santiago de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca-. Corresponde a la zona de vida bosque seco tropical (Holdridge, 1982).

Se utilizaron siete cerdas de raza landrace x pietrain en la etapa de lactancia y 66 lechones en la etapa de lactante y precebos, en jaulones de 2,43 x 43 m, piso de estibas plásticas, en un galpón con techo de zinc y altura de 5 m, cortinas de tela impermeable como reguladores de temperatura ambiente. La alimentación se realizó a voluntad en una dieta elaborada en la unidad de alimentos balanceados del Centro Agropecuario de Buga, con la composición descrita en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición nutricional dieta suministrada en la prueba

Ingredientes	%
Maíz amarillo	43,1
Torta soya	37,0
Melaza	2,0
Afrechillo de trigo	10,0
Fosfato dicálcico	1,0
Lactorreemplazador	4,0
Premezcla vit-min	0,5
Harina de pescado	1,0
L-Lisina Hcl	0,2
Metionina	1,2

Fuente: Rostagno, y otros, 2005.

Se utilizó un diseño experimental irrestrictamente al azar (DIA), con una Andeva, y una prueba de rangos múltiples con el uso del paquete estadístico Statgraphics.

Los tratamientos evaluados fueron:

Tabla 3. Tratamientos

Destete a los 21 días		Destete a los 28 días		Destete a los 35 días	
Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3	
R1	R2	R1	R2	R1	R2

Las variables evaluadas fueron:

Ganancia de peso: se tomó el peso de los lechones en el momento de ser destetados y al finalizar el periodo experimental.

Consumo de alimento: se llevó registro del alimento consumido durante la etapa de precebos teniendo en cuenta el alimento rechazado y desperdiciado.

Conversión alimenticia: se calculó la conversión alimenticia mediante la relación entre el alimento consumido y el peso ganado.

Mortalidad: se tomó registro de las muertes de los lechones durante todo el periodo.

Análisis parcial de costos: para el análisis de esta variable se tuvieron en cuenta el alimento, las

instalaciones, la mano de obra, los insumos veterinarios y demás. Los costos tomados fueron durante el tiempo que duró el periodo experimental.

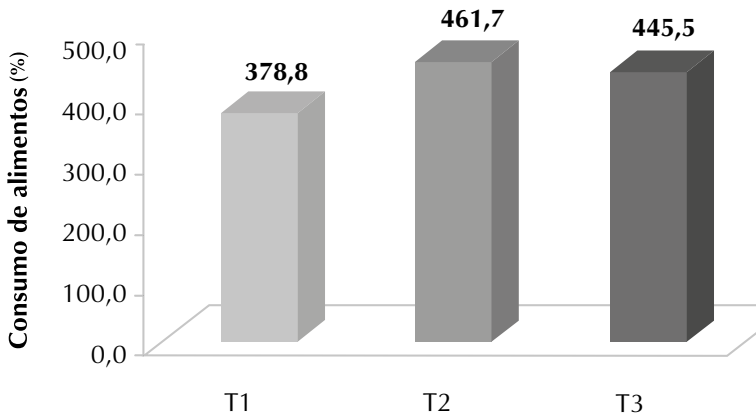
3. Resultados y discusión

Los indicadores fueron evaluados desde el momento del destete hasta 30 días de finalizada la prueba de campo.

3.1 Consumo de alimento

Los valores obtenidos en cada tratamiento fueron T1: 378,8 kg; T2: 461,7; T3: 444,5. Los consumos más altos fueron para los tratamientos T2 y T3, mientras que para el T1 fue el más bajo. Al realizar el Anova simple se encontraron diferencias estadísticas con un $P < 0,05$ entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. La aplicación de la prueba de múltiple rango para encontrar diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher mostró diferencias estadísticas, como se indica en la Figura 1.

Figura 1. Consumo de alimento en el periodo



Los resultados obtenidos (Figura 1) son superiores a los reportados por Castillo & Alves da Trindade, 2007: consumos de alimento de 252 g y 257 g diarios en lechones destetados a los 21 y 28 días de edad, mientras que para Campabadal (2009) el

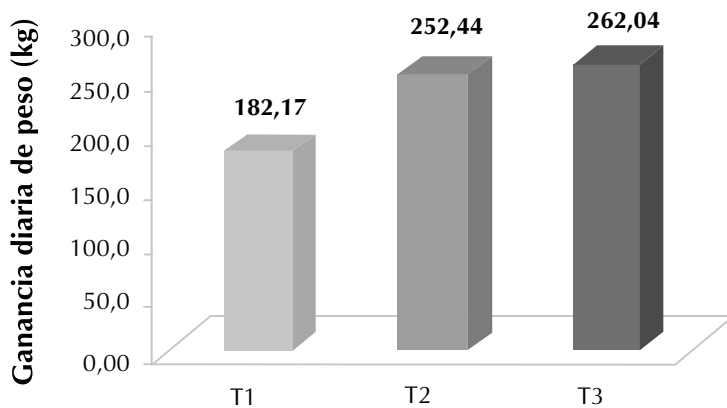
consumo de alimento fue de 400 g en la primera fase del destete a los 21 días. Parsi *et. al.* (2007) encontraron consumos de 609 y 500 g en lechones destetados a los 28 días, llevados a 21 días posdestete superiores a los resultados obtenidos en la presente investigación.

3.2 Ganancia diaria de peso

Los valores obtenidos en cada tratamiento fueron para T1: 182,17 g; T2: 252,44 g; T3: 262,04 g. De esta forma, la ganancia de peso más alta fue para el tratamiento T3, mientras que para T1 y T2 fue más baja. Al realizar

el Anova simple se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre un nivel de tratamientos y otro, con el 95,0% de confianza; la prueba de múltiple rango para encontrar LSD de Fisher mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos como se indica en la Figura 2.

Figura 2. Ganancia diaria de peso



Los resultados obtenidos en la investigación (ver Figura 2) fueron superiores a los encontrados por Andrino Méndez & Guerra Contreras (2010), con ganancia promedio de peso diario de 190 y 160 g en lechones destetados a los 21 y 28 días, respectivamente. Rocha (2006) encontró ganancias de peso de 218 g diarios en lechones destetados a los 25 días, mientras que para Guerrero, González, Díaz, Hurtado & Vecchionacce (2006), la ganancia diaria de peso fue menor (101 y 117 g) en lechones destetados a los 21 y 28 días, respectivamente. La ganancia de peso para T1 es comparable con lo ob-

tenido en el estudio hecho por Reis T. S. (2009), quien encontró valores entre los 183 y 208 g en lechones destetados a los 28 días.

En la investigación realizada por Avelar, Beltranena, Morales, Cervantes, Araiza & Zijlstra (2009), se encontraron ganancias diarias de peso de 375 g en lechones destetados a los 20 días de edad, hasta los 28 días; estos datos son superiores a los encontrados en la presente investigación. Es probable que las ganancias de peso hayan sido afectadas por la presencia de diarreas durante el periodo experimental. Espinosa y otros (2009) citan a

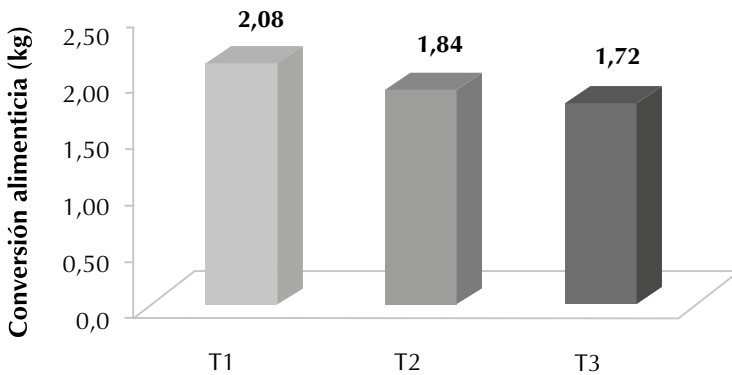
Cranwell (1995), quien afirma que los principales factores de pérdida de peso después del destete son el bajo consumo y las diarreas.

3.3 Conversión alimenticia

Los valores obtenidos en cada tratamiento fueron para T1: 1,98; T2: 1,84; T3: 1,72. De esta forma, la mejor conversión alimenticia fue

para el tratamiento T3, mientras que para T1 y T2 fueron más altas. Al realizar el Anova simple no se encontraron diferencias estadísticas, con un $P > 0,05$ entre un nivel de tratamientos y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Sin embargo, cuando se aplica la prueba de múltiple rango para encontrar LSD de Fisher, muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos, como se indica en la Figura 3.

Figura 3. Conversión alimenticia



Los resultados obtenidos en la investigación (ver Figura 3) para el T3 son parecidos a los encontrados por Borja & Medel (2008), quien reporta una conversión alimenticia de 1,74 y 1,71 en lechones destetados a los 28 y 35 días; mientras que Lara Brito (2006) reporta una conversión alimenticia de 2,3 y 2,6 para lechones destetados a los 21 y 28 días, respectivamente. Los resultados obtenidos en el T1 son comparables con los obtenidos en estudios hechos por Pechin, Sánchez & Álvarez (2003), quienes encontraron

valores de 1,89 y 1,92 en lechones destetados a los 30 días.

3.4 Mortalidad

Los valores obtenidos en cada tratamiento fueron 0% para T1, T2 y T3. El análisis estadístico no mostró diferencias entre los tratamientos. La prueba de múltiples rangos no muestra diferencias estadísticas entre los tres tratamientos analizados. Para esta variable no se registraron muertes durante el periodo

experimental; estos resultados son diferentes a los reportados por Riascos Vallejos & Taramuel Caicedo (2008), quienes encontraron porcentajes de 11, 67 y 5 en lechones destetados a los 25 y 35 días de edad.

3.5 Análisis parcial de costos

Los costos más altos fueron para los tratamientos T2 (\$15.866) y T3 (\$15.276), mientras que para el T1 fue el más bajo (\$13.019), debido a que hubo menos consumo de alimento.

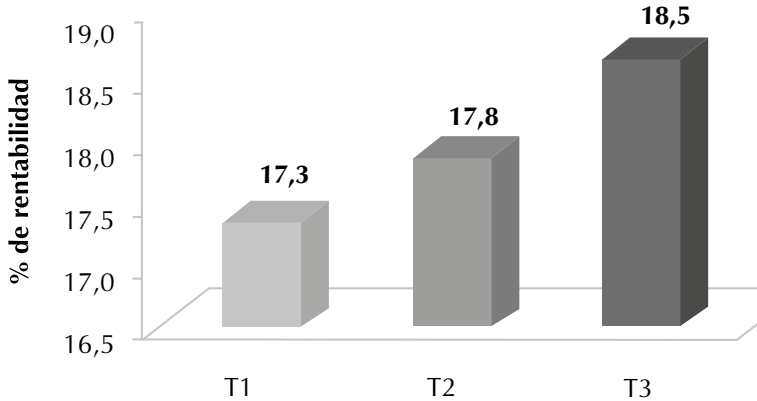
El ingreso bruto está dado por el peso promedio al finalizar la investigación (T1: 11,93 kg; T2: 14,33 kg; T3: 16,06 kg) por el precio del kilo establecido en la granja porcícola (\$6.500).

El ingreso neto obtenido para el T1 fue de \$ 11.421, el de T2 fue \$9.952, mientras que T3 presentó el mayor ingreso neto (\$20.286). Los ingresos netos para el T1 y T2 fueron bajos debido a que no tenían buen peso y contaban con 51 y 58 días de edad;

los del T3 tenían 65. Los resultados encontrados son diferentes a los reportados (Bobadilla, Rouco, García & Castañeda, 2011), quienes realizaron una investigación en la que evaluaron costos de producción en tres granjas, encontraron mayor beneficio para el productor uno, quien hizo el destete a los 21 días, a diferencia de los dos productores restantes, quienes obtuvieron menores beneficios efectuando el destete a los 28 días.

De esta manera se puede determinar que los tratamientos T1 y T2 tuvieron rentabilidad del 17,3% y 17,8%, respectivamente, mientras que la del T3 fue del 18,5%. Al practicar el análisis estadístico, se obtuvo un valor de $P > 0,05$, es decir, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, con un nivel del 95,0% de confianza; sin embargo, cuando se aplican las pruebas de múltiple rango, se encuentran diferencias para los tres tratamientos. Esto indica que en términos económicos la mejor alternativa la ofrece el T3 al tener mayor rentabilidad.

Figura 4. Porcentaje de rentabilidad en los tratamientos



4. Conclusiones

Durante la investigación, el tratamiento uno –correspondiente a los lechones destetados a los 21 días– obtuvo los indicadores más bajos dada la poca aceptación de la dieta suministrada y por lo tanto obtuvo la rentabilidad más baja.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, el tratamiento tres –que corresponde al destete a los 35 días– presentó la mayor ganancia de peso y la mejor conversión alimenticia.

El tratamiento que presentó los mejores indicadores y la mayor rentabilidad es el tratamiento tres, con los lechones destetados a los 35 días.

5. Recomendaciones

Es importante suministrar alimentos sólidos dos semanas después del nacimiento, ya que el lechón va adaptando su organismo a la dieta sólida.

Realizar mayor investigación con otros componentes en dietas de preinicio que permita establecer la composición de materias primas ideales para esta etapa de destete, utilizando materias primas no convencionales para optimizar la edad en las condiciones particulares del Centro Agropecuario de Buga.

REFERENCIAS

- Albarracín, C., L. C. (2003). *Manual de porcicultura. Capacitación tecnológica para pequeños productores con subproductos de la caña en el departamento de Cundinamarca*. Cundinamarca: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica.
- Allee, G. I. & Touchette, K. J. (2009). Efectos de la nutrición sobre la salud intestinal y el crecimiento de lechones.
- Alltech Pig. (2013). Cambios en la alimentación del cerdo al destete. México. Recuperado en www.porcicultura.com, 2.
- Avelar, E., Beltranena, E., Morales, A., Cervantes, M., Araiza, A. & Zijlstra, R. (2009). Alimentación de lechones con granos secos de destilería con solubles de trigo: crecimiento y digestibilidad de nutrientes. Universidad Autónoma de Baja California, 78.
- Bobadilla, E. E., Rouco, A., García, J. & Castañeda, F. (2011). Rentabilidad y costos de producción en granjas porcinas productoras de lechón en el centro del estado de México. *Ciencias Agrícolas Informa*, 93.
- Borja, E. & Medel, P. (2008). *Avances en la alimentación del porcino. Lechones y cerdos de engorde*. Madrid, España: Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica Madrid.
- Bryant, D. P. (2006). Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar>
- Campabadal, C. (2009). *Guía técnica para alimentación de cerdos*. Costa Rica: Asociación Americana de Soya-IM.
- _____. (2006). *Guía técnica para productores de cerdos*. Alimentación de cerdos de mercadeo. Costa Rica: Asociación Americana de Soya-IM.
- Campbell, J., Crenshaw, J. & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*.
- Campbell, Joy M., J. D. (30 de abril de 2013). Recuperado de <http://www.jasbsci.com/content/4/1/19>
- Castillo, W. S. & Alves da Trindade, M. N. (2007). Alimentación de lechones destetados precozmente y efectos en el subsecuente desempeño en el acabado, 148.
- Castillo Soto, Wilson & Trindade Neto, M. (2007). *Alimentación de lechones destetados precozmente y efectos en el subsecuente desempeño en el acabado*. Perú.
- Cervantes, G., Morales, T., Avelar, L., Barrera, S., Araiza, P. & Cervantes, R. (2009). Efecto del destete en la expresión de factores de crecimiento en lechones. Instituto de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma de Baja California, 103.
- Contreras, A. D., Martínez Bautista, N., Amaro Gutiérrez, R., Aguirre Acevedo, F. A. & Angulo Morales, S. S. (2008). *Manual de evaluación de la*

unidad de producción porcina. México: Publicación Especial, No. 45.

Cranwell, P. D. (1995). Development of the neonatal gut and enzyme systems in the neonatal pig development and survival. *Cab. International*.

Dong, G. & Pluske, J. (2007). Alimentación creep la edad del destete y la mezcla de diferentes camadas después del destete. *Anim. Ciencia*.

_____. (2006). El bajo consumo de alimento en cerdos recién destetados problemas y posibles soluciones.

Espinosa, G., Araiza, P., Cervantes, R., Morales, T., Espinoza, S., Landero, V. & otros. (2009). Comportamiento productivo de lechones destetados en respuesta a la inclusión de glutamina y metionina dietética. Instituto de Ciencias Agrarias Universidad Autónoma de Baja California, 121.

García Contreras, A., Loera Ortega, Y., Yagüe, A., Guevara, J. G., & García, C. A. (2012). Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 2012 6(1), 21-50.

Gibson, Amelia, J. A. D. (24 de abril de 2013). Recuperado de www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0059838.

GJMM Lima, N. M. (2009). Recuperado de www.ufrgs.br/actavet/37-suple-1/suinos-03.pdf

Gómez, A. S. (2008). Efecto de la dieta y edad del destete sobre la fisiología digestiva del lechón. *Ciencias Agrarias, Producción Animal Tropical*, Universidad de Nariño.

Gómez, B. Ortega, R. & Becerril, J. (2009). Factores que contribuyen en la variación del peso de la camada al nacimiento y el número de lechones destetados de líneas y cruces maternos porcinos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*.

González, H. C. (2005). *Manual de producción porcícola*. Tuluá.

Grimbeek, D. P. (febrero de 2004). Recuperado de <http://www.sapork.biz/managing-the-weaner-pig/>

Guerrero, A., González, C., Díaz, I., Hurtado, E. & Vecchionacce, H. (2006). Efecto de la edad del destete sobre el comportamiento productivo de lechones. Venezuela. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, volumen especial.

Guerrero, E., González, C., Díaz, L., Hurtado, E., & Vecchionacce, H. (2007). *Effect of weaning age on piglets performance*.

Hensley, Amy & C. M. Wood, V. T. (diciembre de 2002). Recuperado en <http://sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/>

Holdridge, L. R. (1982). Life zone ecology. Tropical Science Center. En Datos climatológicos. (1967-1997). Ideam.

- Johnson, Anna K. D. I.-C. (2014). Recuperado en [/www.porkgateway.org/FileLibrary/PIGLibrary/Factsheets/a6764v1-0.pdf](http://www.porkgateway.org/FileLibrary/PIGLibrary/Factsheets/a6764v1-0.pdf).
- Lara Brito, M. V. (2006). *Evaluación de dos programas de alimentación para lechones en Zamorano, Honduras*. Zamorano, Honduras: Ciencia y Producción Agropecuaria.
- Maglioni, O. R. (2007). *Manual práctico porcino*. Cali: Gobernación del Valle del Cauca.
- Medel, M. A. (2005). *Nutrición y alimentación de lechones*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Mejía Medina, J., Rincón Ruiz, J., Gutiérrez Vergara, C., López Herrera, A. & Parra Suescún, J. (2012). *Evaluación de parámetros y lesiones en órganos de cerdos clínicos durante el periodo posdestete*.
- Méndez, Andrino B. J. & Guerra Contreras, C. E. (2010). *Evaluación de la edad del destete a 21 y 28 días*. Zamorano Honduras.
- Montoya, C., López, A. & Par, J. (2012). Alteraciones en la producción MRNA de enzimas intestinales de cerdos durante varios periodos posdestete. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 133.
- Magowan, Elizabeth N. E. (agosto de 2007). Recuperado de <http://www.afbini.gov.uk>
- Paramio, M. T., Manteca, X., Milán, M., Piedrahíta, J., Izquierdo, M., Gasa, J. & otros. (2009). *Manejo y producción de porcinos*. España: Facultat de Veterinària UAB.
- Parsi, J., Echevarría, A., Trolliet, J., Grivel, C., Rossi, D. & Yanke, M. (2007). Efectos del tamaño de grupo y diferentes disponibilidades de comederos sobre conversión del alimento y el aumento diario de peso en cerdos posdestete en sistemas de producción al aire libre. *Redvet*, 8.
- Paulino, J. A. (2006). *Manejo de cerdito destetado precoz y ultraprecoz*, 2.
- Pechin, Sánchez & Álvarez. (2003). *Efectos de la adición de suero de queso deshidratado en las dietas de lechones destetados a los 30 días*, 32.
- Pig. (2006). Premier Pig Program. 6.
- Reis, T. D., Landin, G., Escobar, K. G., Aguilera, A. B. & Magné, A. B. (2011). *Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfo-fisiológico de su aparato digestivo*, 156.
- Reis, T. S. (2009). *Informe técnico de la estancia sabática*, 6.
- Riascos Vallejos, A. & Taramuel Caicedo, R. (2008). *Efecto del destete precoz en jaulones de precebo*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Rocha, J. L. (2006). *Curva de crecimiento de lechones con destete temprano (16 días), comparada con destetes a 24 días en 33*.

- Rodarte, L., Trujillo, M., José Miguel Doporto & Galindo, F. (2005). *Efecto de la manipulación ambiental sobre el comportamiento social, reactivo al humano y producción de lechones destetados a los 14 días*, 376.
- Rodríguez, M. S. (2011). *Producción animal e higiene veterinaria. Fundamentos y técnicas de los métodos de destete*.
- Rostagno, H. S., Teixeira Albino, L., Lopes Donzele, J., Gomes, P., Oliveira, R., Lopes, D. & otros. (2005). *Tablas brasileras para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. Brasil: Universidad Federal de Vicosa. Departamento de Zootecnia, 168.
- Roura, E. (2004). *Alteraciones del comportamiento alimentario del lechón al destete: desarrollo digestivo y factores dietéticos. Enfoque sobre la conciencia del alimento*, 1.
- Souza, T. C. & Landin, G. M. (1997). *El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes*. México.
- Souza, T. M. (2012). *Cambios nutricionales en el lechón y desarrollo morfolosiológico de su aparato digestivo*. Veterinaria México.
- Torres, D. M. & Hurtado, V. L. (2007). *Análisis de parámetros de desempeño zootécnico en la fase de cría en una porcícola comercial del departamento del Meta. Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 63.
- Viggo, D. (2009). *Nutrición y alimentación de lechones en condiciones de manejo del norte de Europa*.

Efecto de dos diluyentes a base de lecitina de soya sobre parámetros morfométricos en semen caprino

Effect of two soybean lecithin-based extenders in buck sperm head morphometric parameters

Leonardo Hernández-Corredor, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Regional Norte de Santander
hernandezc@sena.edu.co

Jesús Dorado, Departamento de Medicina y Cirugía Animal,
Universidad de Córdoba, España
jdorado@uco.es

Armando Quintero-Moreno, Laboratorio de Andrología,
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela
armando.quintero@scv.luz.edu.ve

Isabel Ortiz, Departamento de Medicina y Cirugía Animal,
Universidad de Córdoba, España
iortiz@uco.es

Antonio Buzón, Departamento de Medicina y Cirugía Animal,
Universidad de Córdoba, España
abuzon@uco.es

Marlín Corzo, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Regional Norte de Santander
mccorzo@misena.edu.co

Manuel Hidalgo, Departamento de Medicina y Cirugía Animal
Universidad de Córdoba, España
midalgo@uco.es

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro CEDRUM,
Regional Norte de Santander

FECHA DE RECEPCIÓN: 28 DE MARZO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

Diluyentes a base de lecitina de soya han sido usados en la criopreservación de semen caprino; sin embargo, no existe información en el efecto de la morfometría y vitalidad espermática. El objetivo del estudio fue comparar el efecto de dos diluyentes comerciales a base de lecitina de soya en semen posdescongelado, su efecto en la vitalidad y morfometría de la cabeza espermática. Al observar los resultados de la vitalidad y las dimensiones de la cabeza espermática (SHD) en la posdescongelación, usando Ovixcell, fueron más pequeñas. Una reducción en la SHD ha sido descrita en los procesos de criopreservación; por lo tanto, esta reducción después de la criopreservación puede ser relacionada con los sucesos de la criopreservación. En conclusión, la vitalidad y la SHD en el semen caprino posdescongelado con AndroMed fueron altamente significativas en comparación con el Ovixcell; esto puede ser relacionado con la mejor resistencia a la congelación seminal.

Palabras clave: cabros, diluyentes, vagina artificial.

ABSTRACT

The soybean lecithin extenders have been used for cryopreservation of buck semen; however, there is no information about its effect on sperm morphometry and vitality. The aim of this study was to compare the effect two commercial soybean lecithin-based extenders on post-thaw buck sperm head morphometric parameters. According to these results, the sperm head dimensions (SHD) of semen samples frozen and thawed using Ovixcell were smaller. A reduction in SHD has been previously described due to cryopreservation procedures. Then, a lower reduction of SHD after thawing could be related with better cryopreservation success. In conclusion, the SHD of goat semen frozen-thawed with AndroMed were significantly higher in comparison to Ovixcell, which could be related to better resistance to cryopreservation.

Keywords: Buck, Extender, Artificial Vagina.

INTRODUCCIÓN

En los animales de granja, la congelación de semen es una técnica muy utilizada en la inseminación artificial (IA) y en la técnica de fertilización in vitro (FIV) (Zanganeh, 2013).

La yema de huevo es el componente por excelencia en los diluyentes para almacenamiento y criopreservación del semen en especies como el toro, el morueco y el cabro. La lipoproteína de baja densidad es el mejor componente que posee la yema de huevo en la protección de la integridad de membrana en el proceso de criopreservación (Moussa *et al.*, 2002). Sin embargo, la yema posee el problema de ser un medio rico para bacterias y endotoxinas; asimismo, tiene un efecto tóxico sobre el esperma de búfalos, corderos y caprinos (Aboagla y Terada, 2004). Por esta razón, los diluyentes comerciales hoy en día llevan proteína vegetal (la lecitina de soya) como protector en la criopreservación (Gil *et al.*, 2003).

Los fosfolípidos que contienen el diluyente AndroMed lo hacen muy similar a los encontrados en la yema de huevo, sin el inconveniente de contaminación (Krishnahumar *et al.*, 2011).

Sistemas como el ASMA (Análisis Automático de Morfometría Espermática) llevan mucho tiempo valorando con exactitud y repetitividad las dimensiones de la

cabeza de espermatozoides de diferentes especies (Hidalgo *et al.*, 2008).

Los cambios en las dimensiones de la cabeza de los espermatozoide pueden ser factores internos del macho (pH, osmolaridad, patologías, daños cromosómicos), del método de extracción (contenido seminal) y de la criopreservación (toxicidad del medio) (Hidalgo *et al.*, 2006).

En reproducción animal muchos investigadores tratan de diseñar “el mejor análisis seminal” que pueda predecir la fertilidad y valore convenientemente la muestra (Quintero-Moreno *et al.*, 2003).

1. Materiales y métodos

1.1 Experimentación animal

Este estudio se llevó a cabo en Cúcuta (L 7°54'N, L 72°30'W), región Norte de Santander, entre agosto y diciembre de 2013. Se utilizaron cuatro machos cabríos (2-3 años de edad), alimentados con heno y agua. La toma de muestras se realizó con vagina artificial (40 °C), y fue desarrollada por aprendices del SENA. Durante 8 semanas se obtuvieron 32 eyaculados.

1.2 Medios

Los medios evaluados son Tris con base en lecitina de soya (AndroMed®, Ovixcell®).

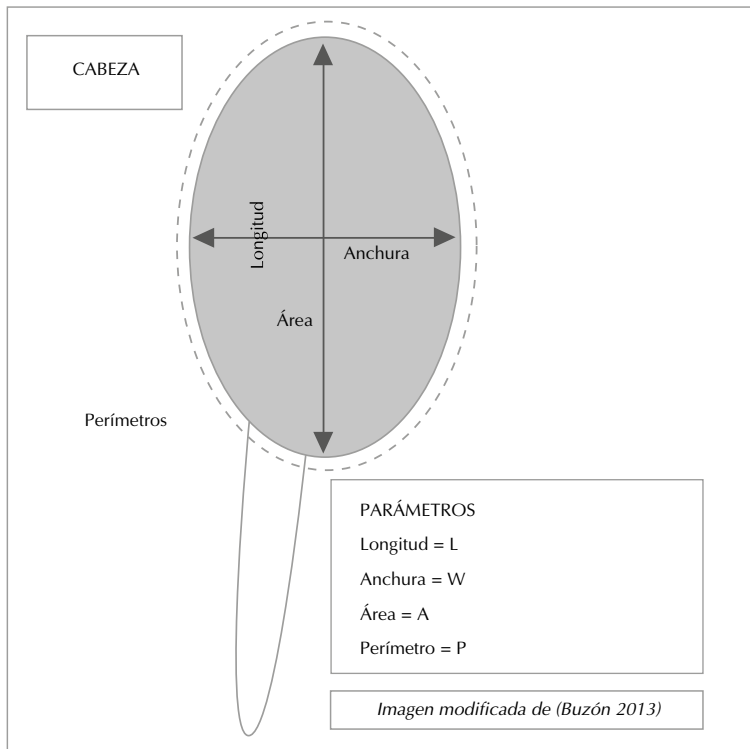
1.3 Procedimiento de laboratorio

En el estudio se utilizaron eyaculados con volumen mayor a 0,7 ml, más del 70% de motilidad espermática y una concentración espermática de $2,5 \times 10^9$ espermatozoides/ml; los eyaculados se dividieron en dos alícuotas, se mezclaron con el medio en dilución 1:1 (semen:diluyente), se centrifugaron a 600 g por 20 minutos; el *pellets* se diluyó y luego se llenaron las pajillas a razón de 100 millones de espermatozoides/pajilla.

Análisis de la vitalidad y morfología. Se colocaron 10 μ l en un portaobjetos a 37 °C en una platina termorre-

gulable y se mezclaron con 15 μ l de colorante eosina-nigrosina (González *et. al.*, 2008). El frotis (extendido) se dejó secar por 30 minutos. Las placas se observaron en microscopio óptico a 1.000 X (aumento); se contaron 100 células espermáticas por placa. El resultado se expresa en porcentaje de espermatozoides vivos. Para evaluar la morfometría de la cabeza espermática, se utilizó sobre los extendidos de las muestras seminales la tinción Diff-Quick una hora más tarde de fijadas. La evaluación de la morfometría espermática (ASMA) se realizó en el laboratorio de reproducción animal de la Universidad de Córdoba (España).

Figura 1. Parámetros morfométricos evaluados en la cabeza del espermatozoide caprino



El procedimiento se llevó mediante el *software* Sper-Class Analyzer® (Microptic, Barcelona-España). Este equipo consta de un microscopio (Olympus BH-2; Tokio-Japón) equipado con un objetivo de 10 X y conectado a una videocámara (Sony CCD - IRIS SSC-M370; Sony Corporation, Tokio, Japón) que transmite las imágenes microscópicas hasta una tarjeta capturadora de video (Meteor II; Matrox Electronic Systems Ltd; Quebec-Canadá) ubicada en el interior de un PC (Procesador Pentium IV, Intel Inside, Filipinas). Antes de cada valoración se ajustaron los parámetros de iluminación y contraste, con el fin de optimizar las capturas de las células espermáticas, según metodología de Buzón (2013).

1.4 Análisis estadístico

Todos los datos obtenidos fueron analizados mediante el Statistical Analysis System Software 9,0 para Windows (SAS Inst. Inc.; Carry, NC. EUA, 2004). Para los efectos de los medios (lecitina de soya) sobre las variables evaluadas de vitalidad seminal y sobre las dimensiones de la cabeza del espermatozoide (L, W, A, P) se utilizó el modelo lineal general del análisis de varianza (Proc GLM); cuando existieron diferencias se usó LSMEANS. Para identificar las subpoblaciones espermáticas se aplicó un análisis multivariado de agrupamiento no jerárquico mediante el procedimiento "Fastclus", el cual agrupa a los espermatozoides según

sus características morfométricas comunes, teniendo en cuenta la metodología de Martínez-Pastor *et al.*, 2005. Aquellos espermatozoides con medidas similares fueron asimilados a un mismo grupo (*cluster*); los de medidas diferentes se asignaron a grupos distintos. Para observar interacción entre las subpoblaciones y los medios (AndroMed vs. Ovixcell) sobre las dimensiones ya descritas se usó el PROC GLM.

2. Resultados y discusión

En el estudio fueron utilizados machos de conocida fertilidad y calidad seminal. Se encontraron muy pocas anomalías morfológicas. De las 32 muestras evaluadas (Tabla 1), donde se registraron 2.273 espermatozoides, al aplicar el procedimiento Outlayers, quedaron 2.140 células espermáticas para el estudio.

Al observar los cuadros 1 y 2 se tomaron los Prin1 y Prin2, ya que explican un 74,75% del modelo, aplicando la metodología de Martínez-Pastor *et al.* (2005). Utilizando la pseudo-t2, la pseudo-F y el criterio cúbico *clusterizado* (CCC) graficados teniendo en cuenta los picos de (CCC) y la pseudo-F combinadas con un valor pequeño de pseudo-t2, determinando cuatro subpoblaciones espermáticas (Gráfica C).

Los sistemas informáticos para el estudio de la morfología espermática en los últimos años han tenido importancia en la investigación de

subpoblaciones espermáticas (Hidalgo *et. al.*, 2008). En el 2004 Hidalgo obtiene medidas de $L = 8,55 \mu\text{m}$, $W = 4,25 \mu\text{m}$, $A = 29,90 \mu\text{m}^2$, $P = 22,42 \mu\text{m}$ en animales de la raza florida. Marcos-Jiménez *et. al.* (2006) obtuvieron medidas de $L = 8,21 \mu\text{m}$, $W = 3,54 \mu\text{m}$, $A = 24,34 \mu\text{m}^2$, $P = 21,34 \mu\text{m}$. Hidalgo *et. al.* (2006) obtuvieron medidas de $L = 8,55 \mu\text{m}$, $W = 4,26 \mu\text{m}$, $A = 29,92 \mu\text{m}^2$, $P = 22,42 \mu\text{m}$. Sin embargo, en la especie caprina existe poca información disponible para las medidas morfométricas del espermatozoide determinadas por ASMA

y los factores que afectan los cambios.

El efecto de la congelación en el semen ha sido ampliamente estudiado (Miró *et al.*, 2005; Dorado *et al.*, 2010; Núñez-Martínez *et. al.*, 2006; Flores *et. al.*, 2009). La composición bioquímica de la membrana que afecta el contenido de fosfolípidos y colesterol es responsable de la sensibilidad de los espermatozoides (Quintero-Moreno, 2003). Las características bioquímicas del diluyente poseen un rol importante en la viabilidad del semen.

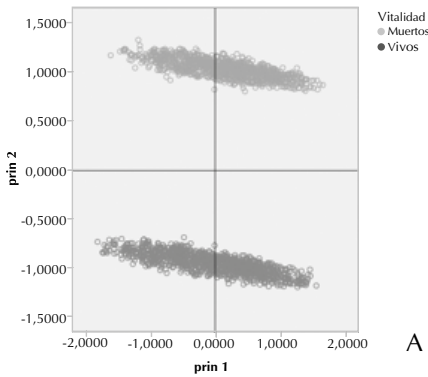
Cuadro 1. Análisis de componentes principales

Eigenvalues	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulado
Prin1	2,7330	1,7289	0,5466	0,5466
Prin2	1,0041	0,4100	0,2008	0,7475
Prin3	0,5941	0,1384	0,1188	0,8663
Prin4	0,4556	0,2426	0,0911	0,9574
Prin5	0,2129		0,0426	1,0000

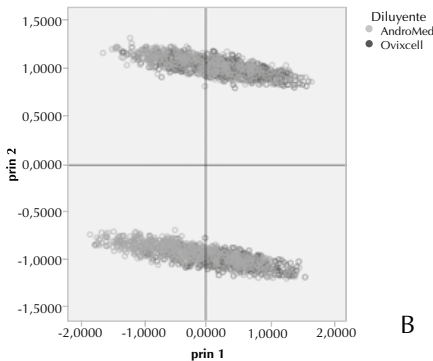
Cuadro 2. Eigenvectors

	Prin1	Prin2	Prin3
Vitalidad	0,0728	0,9821	0,1586
Longitud	0,5040	-0,1237	0,5473
Ancho	0,4775	0,0110	-0,6618
Área	0,5058	-0,0439	-0,3152
Perímetro	0,5065	-0,0780	0,3712

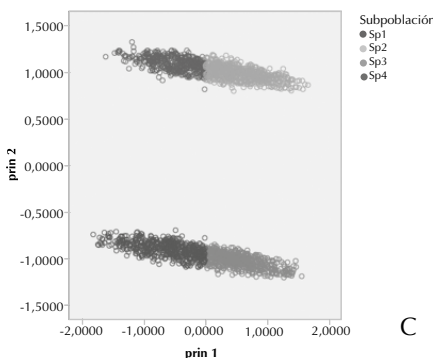
Gráfica A. Vitalidad espermática (espermatozoides vivos-muertos)



Gráfica B. Efecto de los diluyentes sobre espermatozoides caprinos (Andro-Med-Ovixcell)



Gráfica C. Subpoblaciones espermáticas



Al graficar la prin1 y la prin2, se observa cómo se separan marcadamente los espermatozoides vivos de los muertos (Gráfica A). Cuando se grafica con base en los diluyentes (Gráfica B), se puede observar cómo las dos gráficas se sobreponen, mostrando mayor porcentaje de muertos con el diluyente Ovixcell.

El proceso Fastclus detectó cuatro subpoblaciones para morfología. En la Gráfica C, la subpoblación 1 son espermatozoides de cabeza pequeña y poco anchos; no existen diferencias significativas ($P \geq 0,05$) entre los diluyentes AndroMed (19,67%) vs. Ovixcell (19,67%) de la subpoblación. La subpoblación 2 son espermatozoides de cabeza grande y anchos; existen diferencias significativas entre los diluyentes ($P \leq 0,05$), siendo mejor el AndroMed (36,04%) como diluyente que el Ovixcell (21,84%).

Subpoblaciones espermáticas vivas

La subpoblación 3 son espermatozoides de cabeza grande y ancha; existen diferencias significativas entre los diluyentes ($P \leq 0,05$), siendo mejor el Ovixcell (22,11%) como diluyente que el AndroMed (30,32%). La subpoblación 4 son espermatozoides de cabeza pequeña y no muy ancha; existen diferencias significativas entre los diluyentes ($P \leq 0,05$), siendo mejor el AndroMed (13,95%) como diluyente que el Ovixcell (36,37%).

Subpoblaciones espermáticas muertas

El origen de las subpoblaciones espermáticas no ha sido dilucidado aún, pero esta variabilidad se puede presentar en el proceso de maduración en el epidídimo y de allí presentar estas diferencias en la

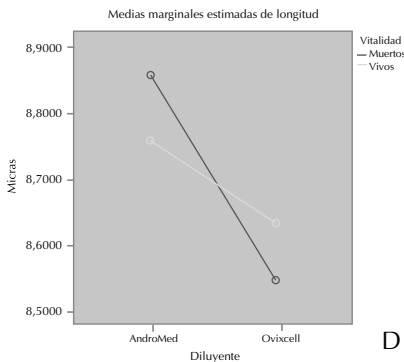
morfología (Peña *et. al.* 2005; González *et al.* 2008). Sin embargo, hoy en día se aceptan las subpoblaciones espermáticas caprinas (Dorado, 2003; Hidalgo, 2004) y de otras especies (Rubio-Guillén *et al.*, 2007; Peña *et.al.*, 2005; Maroto-Morales *et. al.*, 2012; Buzón, 2013).

Tabla 1. Subpoblaciones espermáticas encontradas en los espermatozoides caprinos en los diferentes medios

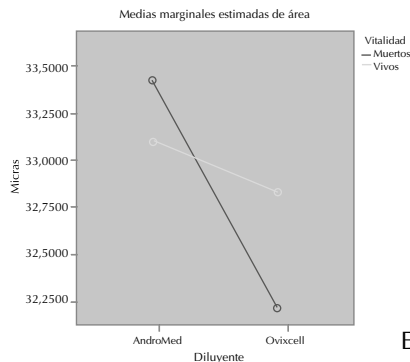
	AndroMed®					Ovixcell®				
	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Total	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Total
N	203	372	313	144	1.032	218	242	245	403	1.108
Porcentaje de población	19,67	36,04	30,32	13,95	100	19,67	21,84	22,11	36,37	
Vitalidad (%)					55,71**					41,51**
Longitud de la cabeza (µm)	8,42 ±0,26	8,93 ±0,27	8,99 ±0,24	8,55 ±0,29	8,79 ±0,35**	8,31 ±0,30	8,91 ±0,29	8,95 ±0,29	8,29 ±0,31	8,57 ±0,43**
Ancho de la cabeza (µm)	4,08 ±0,12	4,30 ±0,12	4,28 ±0,12	4,05 ±0,14	4,22 ±0,16 N.S.	4,07 ±0,13	4,30 ±0,13	4,28 ±0,10	4,05 ±0,15	4,16 ±0,18 N.S.
Área de la cabeza (µm²)	30,81 ±1,69	34,34 ±1,90	34,49 ±1,88	31,09 ±1,79	33,24 ±2,47 N.S.	30,95 ±2,02	34,51 ±1,83	34,78 ±1,77	30,65 ±1,95	32,47 ±2,71 N.S.
Perímetro de la cabeza (µm)	18,92 ±0,68	20,13 ±0,68	20,28 ±0,73	18,95 ±0,69	19,77 ±0,92**	18,71 ±0,65	20,04 ±0,73	20,07 ±0,71	18,69 ±0,75	19,29 ±0,98**

** Diferencias significativas a $P \leq 0,001$. N.S. No existen diferencias significativas a $P \geq 0,05$.

Gráfica D. Interacción entre diluyentes y la vitalidad espermática con respecto a la longitud de la cabeza espermática. **Gráfica E.** Interacción entre diluyentes y la vitalidad espermática con respecto al área de la cabeza espermática.

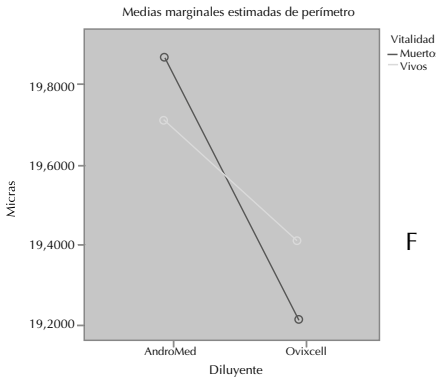


D



E

Gráfica F. Interacción entre diluyentes y la vitalidad espermática con respecto al perímetro de la cabeza espermática.



En las gráficas D, E y F se observan las interacciones entre los diluyentes y la vitalidad. Las células muertas en AndroMed tienden a mostrar una mayor longitud, área y perímetro de la cabeza espermática con respecto al Ovixcell, que evidenciaron medidas inferiores. Por lo tanto, se observa que las células muertas en AndroMed tienen mayor longitud, área y perímetro que las células vivas, probablemente debido a que la célula se hidrata por los componentes del medio, mientras que se deseca con el diluyente Ovixcell. Las células muertas mostraron el tamaño de la cabeza más bajo como consecuencia de la pérdida de membrana, como describen Marco-Jiménez *et al.*, 2006.

La posible reacción fisiológica puede ser atribuida al estrés extracelular oxidativo, efectos del plasma seminal, que constituye la producción de radicales libres. Estos son sustancias del plasma seminal que

protegen el espermatozoide en el proceso de criopreservación (Barbaros *et al.*, 2013).

La deshidratación progresiva de los espermatozoides, la alta proporción de células con daño acrosomal y cambios en la distribución de enzimas en las membranas o diferencias en la estructura de la cromatina se pueden inducir en la criopreservación (Marti *et al.*, 2011). La vitalidad espermática después de la descongelación depende de muchos factores, como la técnica de congelación, la composición de los diluyentes, dilución, tiempos de congelación y método de descongelación (Aboagla y Terada, 2004).

Las diferencias en el tamaño de la cabeza entre los espermatozoides vivos y muertos posiblemente se deben a que estos últimos han modificado la función de la membrana y han perdido parte de su contenido intracelular como resultado de la degeneración (Gravance *et al.*, 1998).

Durante la fase de equilibrio, después de la adición del medio crioprotector, pero antes de la fase de congelación, las células inicialmente se encogen por el agua que fluye al exterior y luego se hinchan porque el agua y el crioprotector entran. Los espermatozoides vivos se encogen al llegar al equilibrio osmótico, dando como resultado una reducción menor a la del tamaño de

la cabeza de los espermatozoides muertos (Agca *et al.*, 2002).

Marco-Jiménez *et al.*, (2006) indican que la reducción en las medidas de la cabeza espermática de longitud, área y perímetro se da durante la fase de enfriamiento; el ancho se afecta en la fase de congelación y descongelación se presentan valores bajos. El gradiente osmótico a través de las membranas del espermatozoide se genera durante el ciclo de congelación-descongelación; los daños celulares se producen durante la

criopreservación: el efecto osmótico y la formación de hielo intracelular.

Los valores medios morfométricos obtenidos fueron superiores a los reportado por Gravance *et al.*,(1998), Hidalgo *et al.*, (2004, 2006) y Marcos-Jiménez *et al.* (2006).

Por el resultado del presente estudio, se observa que la morfología y la vitalidad se afectan por diluyentes con lecitina de soya como el Ovixcell®. Se encontraron valores muy superiores con AndroMed®.

REFERENCIAS

- Aboagla, E., y Terada, T. (2004). Effects of egg yolk during the freezing step of cryopreservation on the viability of goat spermatozoa. *Theriogenology* 62(6), 1160-1172.
- Agca, Y., Gilmore, J., Byers, M., Woods, E., Liu, J., Critser, J. (2002). Osmotic characteristics of mouse spermatozoa in the presence of extenders and sugars. *Biol. Reprod.* 67, 1493-1501.
- Barbaros, P., Tasdemir, U., Buyukleblebici, S., Orgurtas, T., Cosjun, E., Erol, H., H., Nuri, F., Safa, I. (2013). Effects of different doses of trehalose supplementation in egg yolk extender in frozen-thawed Angora buck semen. *Small Ruminant Research* 113: 383-389.
- Batista, M., Niño, T., Santana, M., Alamo, D., Castro, N., Reyes, R., González, F., Cabrera, F., Gracia, A. (2011). Influence of the preservation temperature (37, 20, 4, -196 °C) and the mixing of semen over sperm quality of Majorera bucks. *Reprod. Domest. Anim.* 46, 281-288.
- Buzón, A. (2013). *Análisis cinético del espermatozoide del caballo bajo el sistema Sperm Class Analyzer*. Universidad de Córdoba. Tesis Doctoral. 173 p.
- De los Reyes, M., Palomino, J., Parraguez, H., Hidalgo, M., Saffie, P. (2011). Mitochondrial distribution and meiotic progression in canine oocytes during in vivo and in vitro maturation. *Theriogenology* 75(2), 346-353.
- Dorado, J. (2003). Respuesta a la congelación-descongelación del esperma de macho cabrío. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. Facultad de Veterinaria.
- Dorado, J., Hidalgo, M., Muñoz, A. y Rodríguez, I. (2010). The effect of cryopreservation on goat semen characteristics related to sperm free ability. *Animal Reproduction Science* 121, 115-123.
- Gravance, C., White, C., Robertson, K., Champion, Z., Casey, P. (1997). The effects of cryopreservation on the morphometric dimensions of caprine sperm heads. *Anim. Reprod. Sci.* 49, 37-43.
- Gil, J., Rodríguez-Irazoqui, M., Lundeheim, N., Soderquist, L., Rodríguez-Martínez, H. (2003). Fertility of ram semen frozen in Bioexcell and used for cervical artificial insemination. *Theriogenology* 59(5-6), 1157-1170.
- Flores, E., Fernández-Novell, J., Peña, A., Rodríguez-Gil, J. (2009). The degree of resistance to freezing-thawing is related to specific changes in the structures of motile sperm subpopulations and mitochondrial activity in boar spermatozoa. *Theriogenology* 72, 784-797.
- González, D., Quintero-Moreno, A., Garde, J., Estes, M., Fernández-Santos, M., Rubio-Guillén, J.,

- Mejía, W., González, Y., León, G., Bohórquez, R. (2008). Caracterización morfométrica de la cabeza del espermatozoide porcino mediante análisis computarizado (resultados preliminares). *Revista Científica FCV-LUZ*, vol. XVIII, (5), 570-577.
- Hidalgo, M., Rodríguez, I., Dorado, J., Pérez, C., Sanz, J. (2004). Comparison of three staining procedures used for computerassisted buck sperm head morphometry analysis, *Reprod. Domest. Anim.* 39 (2004), 271, 35.
- Hidalgo, M., Rodríguez, I., Dorado, J. (2006). Influence of staining and sampling procedures on goat sperm morphometry using the Sperm Class Analyzer. *Theriogenology* 66(4), 996-1003.
- Hidalgo, M., Rodríguez, I., Dorado, J., Soler, C. (2008). Morphometric classification of Spanish thoroughbred stallion sperm heads. *Anim Reprod Sci* 103(3-4), 374-37.
- Krishnakumar, S., Whiteside, D., Dance, A., Elkin, B., Thundathil, J. (2011). Evaluation of an animal protein-free semen extender for cryopreservation of epididymal sperm from North American bison (*Bison bison*). *Theriogenology* 76(2), 252-260.
- Marco-Jiménez, F., Garzón, D., Peñaranda, D., Pérez, L., Viudes de Castro, M., Vicente, J. Y Asturiano, J. (2006). Cryopreservation of european spermatozoa: effect of dilution ratio, foetal bovine serum supplementation and cryoprotectants. *Cryobiology*. Vol. 53, Issue 1, August, 51-57.
- Maroto-Morales (2012). Evaluación objetiva de la morfometría de los espermatozoides de ovino (*Ovis aries*). Relaciones con la fertilidad. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha. Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos.
- Marti, J., Aparicio, I., García-Herreros, M. (2011). Head morphometric changes in cryopreserved ram spermatozoa are related to sexual maturity. *Theriogenology*, 75(3), 473-81.
- Martínez-Pastor F., García-Macías, V., Álvarez, M., Herraes, P., Anel, I., De Paz. (2005). Sperm Subpopulations in Iberian Red Deer Epididymal Sperm and Their Changes Through the Cryopreservation Process. *Biology of Reproduction* 72, 316-327.
- Miró, J., Lobo, V., Quintero-Moreno, A., Medrano, A., Peña, A., Rigau, T. (2005). Sperm motility patterns and metabolism in Catalonian donkey semen. *Theriogenology* 63, 1706-1716.
- Moussa, M., Marinet, V., Trimeche, A., Tainturier, D., Anton, M. (2002). Low density lipoproteins extracted from hen egg yolk by an easy method: cryoprotective effect on frozen-thawed bull semen. *Theriogenology* 57(6), 1695-1706.

- Núñez-Martínez, I., Morán, J., Peña, F. (2006). Two-step cluster procedure after principal component analysis identifies sperm subpopulations in canine ejaculates and its relation to cryoresistance. *Journal of Andrology* 27, 596-603.
- Peña, F., Saravia, F., García-Herreros, M., Núñez-Martínez, I., Tapia, J., Ohannisson, A., Wallgren, M., Rodríguez-Martínez, H. (2005). Identification of Sperm Morphometric Subpopulations in Two Different Portions of the Boar Ejaculate and Its Relation to Postthaw Quality. *J. Androl.* 26, 716-723.
- Quintero-Moreno, A., Miró, J., Rigau, T., Rodríguez-Gil, J. (2003). Identification of sperm subpopulations with specific motility characteristics in stallion ejaculates. *Theriogenology* 59, 1973-1990.
- Rubio-Guillén J, González D, Garde J, Esteso M, Fernández-Santos M, Rodríguez-Gil J, Madrid-Bury N, Quintero-Moreno A. (2007). Effects of cryopreservation on bull spermatozoa distribution in morphometrically distinct subpopulations. *Reprod. Dom. Ani.*, 42, 354-357.
- Zanganeh, Z., Zhandi, M., Zare-Shahneh, A., Najafi, A., Mahdi, M., Mohammadi-Sangcheshmeh, A. (2013). Does rosemary aqueous extract improve buck semen cryopreservation? *Small Ruminant Research* 114, 5.





Agroindustria

Optimización simultánea en filtros rotatorios al vacío para reducción del contenido de sacarosa y humedad en cachaza

Simultaneous optimization in rotatory vacuum filters, to reduce the sucrose content and humidity in filter cake “cachaza”

Elizabeth Narváez Toro, líder I+D+I Centro de Diseño Tecnológico Industrial-SENA
enarvaezt@sena.edu.co

Luz Elena Vinazco Isaza, docente TC Universidad Javeriana Cali
levinasco@javerianacali.edu.co

Gustavo Torres Muñoz, asesor de tesis en el ingenio
gustomuz1970@hotmail.com

Jairo Guerrero Bueno, docente HC ICESI
jagubu@rocketmail.com

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro de Diseño Tecnológico Industrial
Regional Valle del Cauca

FECHA DE RECEPCIÓN: 1 DE ABRIL DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 16 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

Este trabajo se realizó en los filtros rotatorios al vacío de un ingenio azucarero del Valle del Cauca y tuvo por objetivo la generación de una propuesta para la reducción de la pérdida de sacarosa en cachaza; para la elaboración de dicha propuesta se emplearon la metodología Six Sigma y sus herramientas. El uso de las herramientas se centró en el área de filtración de cachaza; al hacer el análisis de causa-efecto se encontró que la máquina (filtros rotatorios al vacío) proporcionaba alta variabilidad al proceso, debido al desconocimiento de las condiciones adecuadas de operación para cada uno de los filtros; para determinar estas condiciones se empleó el diseño experimental, en el cual se incluyeron los factores A, velocidad del tambor, y B, presión de agua de lavado, y como variables respuesta humedad y sacarosa en cachaza; posteriormente se empleó la gráfica de contorno sobrepuesto como método de optimización simultánea de las variables respuesta en cada uno de los filtros, obteniéndose una región de trabajo donde se pueden obtener sacarosa y humedad bajas.

Palabras clave: DOE, filtros rotatorios al vacío, optimización simultánea, azúcar.

ABSTRACT

This work was done in rotatory vacuum filters of a sugar mill in the Cauca Valle and aims to generate a proposal to reduce the loss of sucrose in zone, for the preparation of this proposal was used Six Sigma methodology and tools. The use of tools focused on the filtration area of filter cake, to make the cause-effect analysis found that the machine (rotary vacuum filters), provided the process variability due to lack of proper operating conditions of each one of the filters, to determine these conditions the experimental design was used, which included the factors A: drum speed and B: water pressure washing and response variables humidity and sucrose in rum and then progress to use the graph outline superimposed as a method of simultaneous optimization of response variables in each of the filters, resulting in a work area where you can get sucrose and low humidity.

Keywords: DOE, Rotary Vacuum Filters, Simultaneous Optimization, Sugar.

INTRODUCCIÓN

Se denomina azúcar a la sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁), también llamada azúcar común o azúcar de mesa. La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha.

En Colombia, el azúcar se obtiene a partir del procesamiento de la caña de azúcar. La caña se procesa en molinos de alta eficiencia, donde es separado el bagazo (fibra de la caña) del jugo, rico en sacarosa. Este jugo contiene aún restos de bagazo, ceras, barro e impurezas, por lo que es sometido al proceso de clarificación, donde es sulfitado (proceso donde se agrega dióxido de azufre en estado gaseoso para reducir el color del azúcar), encalado (adición de cal para regular el pH) y se le adiciona un floculante comercial; antes de entrar al clarificador es calentado hasta su punto de ebullición, para facilitar la precipitación de impurezas inorgánicas, previamente en solución, así como también la floculación y precipitación de la materia orgánica, que se encontraba antes en dispersión coloidal (Albarracín, Paz & Octaviano, 2005). El conjunto de flóculos, al tener un peso específico ligeramente mayor que el del jugo, se sedimenta en la parte inferior del clarificador; el precipitado sedimentado (lodos) es removido

del clarificador por gravedad o mediante el uso de bombas, para ser filtrado en filtros rotativos continuos al vacío, donde se añade bagacillo, para aumentar su filtrabilidad (Chen, García Ferrer & Álvarez Medina, 1991). La cachaza filtrada sale del proceso y es usada para abono; esta contiene sacarosa, lo cual se considera una pérdida económica para el proceso.

1. Marco conceptual

El método de Six Sigma es un conjunto de conceptos y técnicas de carácter administrativo y estadístico que se enfoca en reducir la variación de los procesos y en prevenir las imperfecciones en el producto (S. Pande & Holpp, *¿Qué es seis sigma?*, 2003) (M. Gryna, H. Chua & A. Defeo, 2007). Entre los usos que se le ha dado a la metodología están mejorar la productividad en plantas de bebidas (Bahena Quintanilla), reducir tanto errores en análisis clínicos (Velázquez Nava, 2009) como costos de producción (Rueda Blanco, 2007) y mejorar el manejo de proveedores (Correloa Marcial, 2004). Motorola fue la primera organización en utilizar el término de Six Sigma, en la década de los ochenta, como parte de su desempeño de calidad medición y programa de mejora. Six Sigma desde entonces se ha aplicado con éxito en otras organizaciones como General Electric, Boeing, DuPont, Toshi, Toshiba, Seagate, Allied

Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Sony, etc. (Hoon Kwak & T. Anbari, 2006).

Una vez que un defecto, error o problema se ha identificado y aislado para su estudio, es necesario empezar a analizar sus causas potenciales; en situaciones en que las causas no son obvias, el diagrama de causa y efecto es una herramienta formal que con frecuencia es de utilidad para dilucidar las causas potenciales (Montgomery C., 2007). El método que se emplea para la construcción del diagrama causa efecto es el de 6'M (materiales, método, materia prima, mano de obra, máquinas y medio ambiente. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*, 2004).

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios intencionales en las variables de entrada de un proceso para poder observar e identificar los cambios correspondientes en la respuesta de salida.

Cuando en un experimento son varios los factores de interés, deberá usarse un diseño factorial. En estos diseños se realizan combinaciones entre los diferentes niveles de los factores (Montgomery C., 2007). Por experimento factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores, por lo que si

hay dos factores, A y B, con a niveles del factor A y b niveles del factor B, entonces cada réplica contiene todas las combinaciones posibles. (Hinkelmann & Kempthorne, 2005). Los factores pueden ser de tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, operador, la presencia o ausencia de una operación previa, etc.) o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.) (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*).

La optimización simultánea es utilizada cuando se tienen varias variables de respuesta, que se desean optimizar. Por lo general, los óptimos individuales no son las mismas combinaciones de los factores de control (X_1, X_2, \dots, X_K). Esto hace necesario buscar una solución donde todas las variables tengan un nivel satisfactorio. A esta solución compromiso la llamaremos óptimo simultáneo (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*).

2. Materiales y métodos

En el área de filtración de cachaza del ingenio, los operarios establecen la velocidad del tambor del filtro y la presión de agua de lavado, en un rango de:

- Velocidad del tambor (15 a 50 rph).
- Presión de agua (10 a 15 psi).

No existe un indicador visual para velocidad ni se registra información de velocidad o presión de agua para cada filtro; los operarios manejan estos factores de acuerdo con inspección visual y su experiencia.

Según los diagramas de causa -efecto que se realizaron, se encontró que los equipos (filtros rotatorios al vacío) constituían un elemento importante para las variables sacarosa y humedad en cachaza y que a su vez las condiciones de operación de estos eran determinantes en el comportamiento de los valores de esta variable. Por tanto, se decidió implementar diseño experimental como una herramienta para determinar las condiciones de operación de los filtros rotatorios al vacío.

No se lleva registro de los valores de presión de agua y velocidad de cada filtro, pues el manejo de la válvula y de la perilla de velocidad es manual. La presión de agua cuenta con un manómetro, que permite determinar qué presión de agua está llegando al filtro, mientras que el manejo de la velocidad se hace al cálculo visual del operario, pues no existe un indicador visual que permita determinar a qué velocidad va el filtro. La presión de agua se mueve en un rango de 10 a 15 psi y la velocidad del tambor va de 15 a 50 rph. Al determinar los niveles de presión de agua y velocidad de tambor en los que se deben tener los filtros para obtener

sacarosa en cachaza y humedad bajas, se puede disminuir la pérdida de sacarosa en cachaza.

El diseño experimental en el área de filtración fue para cada filtro, puesto que operativamente esta forma genera menos perturbación al proceso, ya que hacer el diseño simultáneamente en los seis filtros podría ocasionar un incremento en el nivel de lodo en los clarificadores, lo cual es perjudicial para todo el proceso de elaboración de azúcar; esta decisión fue respaldada por el estudio de capacidad que se realizó previamente, donde se evidenció que el desempeño de cada filtro para la variable sacarosa en cachaza es diferente.

En el diseño experimental no se tuvo en cuenta la configuración de las bombas que suministran presión de vacío a los filtros, puesto que en el lapso en el que se realizaron los experimentos se cambiaba constantemente dicha configuración, debido a labores de mantenimiento o daños en alguna de las bombas.

Los diseños se hacían siempre y cuando la cantidad de caña molida fuera constante, puesto que así se garantizaba un suministro de bagacillo permanente al área de filtración. En caso de presentarse paros de molienda cuando se estaba llevando a cabo el experimento, las muestras colectadas se descartaban y se volvía a repetir el diseño cuando el proceso se estabilizara.

2.1 Descripción del diseño

Con el experimento se estudió el efecto de los factores A, velocidad del tambor, y B, presión de agua, sobre las variables respuesta: sacarosa y humedad en cachaza. Como los factores son dos y cada uno tiene dos niveles (ver Tabla 1), se decidió correr un factorial 2k con dos réplicas, lo que permitió recoger información relevante en relación con el efecto de estos factores sobre las variables respuesta antes mencionadas.

Los niveles del factor A, velocidad del tambor, fueron 15 y 50 rph, puesto que 15 rph (4 min/vuelta) es la velocidad recomendada según la literatura indagada, y 50 rph (1,2 min/vuelta) corresponde a la velocidad en la cual trabajan usualmente los filtros. Los niveles del factor B, presión de agua, 10 y 15 psi, son los valores en los que usualmente se trabaja este factor en los filtros.

A medida que la velocidad del tambor se incrementa, los tiempos de lavado y filtrado de la torta se hacen más cortos. La presión de agua que entra a los filtros se emplea en el ingenio como un indicador de la cantidad de agua que se usa en el lavado de la torta; por tanto, a mayor presión de agua, más agua de lavado se tendrá en el filtro. Sin embargo, esta situación hace que el proceso deba remover más agua; por lo tanto, en algunos casos la humedad de la cachaza puede aumentar.

Tabla 1. Factores y respectivos niveles del diseño factorial 2k

Factores y respectivos niveles del diseño experimental		
Factor	Niveles	
	Bajo (-1)	Alto (1)
A: Velocidad del tambor	15 rph	50 rph
B: Presión de H ₂ O agua	10 psi	15 psi

El modelo estadístico propuesto para el diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk};$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

donde:

μ es la media general.

α_i es el efecto debido al i-ésimo nivel del factor A.

β_j es el efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ representa el efecto de la interacción en la combinación ij.

ε_{ijk} es el error aleatorio que se supone sigue una distribución normal con media cero y varianza constante.

Para este modelo $a = 2$ $b = 2$; $k = 2$, puesto que a y b son los niveles de los factores A y B, respectivamente, y k representa el número de réplicas.

Las hipótesis de interés para el modelo son:

Para velocidad

Ho: $\mu_{A15} = \mu_{A50}$ Vs Ha: $\mu_{A15} \neq \mu_{A50}$

Para presión de agua

Ho: $\mu_{B10} = \mu_{B15}$ Vs Ha: $\mu_{B10} \neq \mu_{B15}$

Interacción

Ho: $\mu_{A15 B10} = \mu_{A15 B15} = \mu_{A50 B15} = \mu_{A50 B10}$

Vs

Ha: $\mu_{A15 B10} \neq \mu_{A15 B15} \neq \mu_{A50 B15} \neq \mu_{A50 B10}$

Estas hipótesis se probaron para cada uno de los efectos descritos mediante la técnica de análisis de varianza. El nivel de significancia al cual se trabajó fue $\alpha = 0,05$.

Antes de iniciar el experimento se verificaba que el filtro no tuviera problemas mecánicos evidentes, que la molienda de caña fuera constante y que no estuvieran altos los niveles de cachaza en los clarificadores. Se procedía, con la ayuda de un cronómetro, a poner el nivel de velocidad que estuviera en la matriz del diseño (ver Tabla 2) y a fijar el nivel de presión de agua que correspondiera, se dejaba dar cinco vueltas y se procedía a coleccionar la muestra.

El diseño experimental de cada uno de los filtros corresponde a cuatro tratimientos, con dos réplicas,

dando como resultado ocho valores de las variables respuesta, sacarosa y humedad en cachaza.

Tabla 2. Matriz para el diseño factorial 2k

Matriz para el diseño experimental		
Tratamientos	Velocidad	Presión
Tratamiento 1	15 rph	10 psi
Tratamiento 2	50 rph	10 psi
Tratamiento 3	15 rph	15 psi
Tratamiento 4	50 rph	15 psi

2.2 Procesamiento de las muestras¹

a. Materiales

- Cachaza.
- Frasco Kohlrausch de 200 ml.
- Papel filtro.
- Embudo.
- Vasos de precipitado de 200 ml.
- Agente clarificante.

b. Equipos

- Balanza de precisión.
- Polarímetro.
- Secador halógeno.

.....
 1 Basado en el instructivo para la determinación de sacarosa y humedad en cachaza, edición 5 del laboratorio de control de procesos del ingenio.

Preparación de la muestra para el análisis de sacarosa:

- Se toman 50 g de muestra y se disuelve con aproximadamente 50 ml de agua.
- Se transfiere la mezcla a un frasco Kohlrausch de 200 ml y se agregan 3 g de mezcla de agente clarificante (sulfato de aluminio, cal viva, agente ayuda filtrante).
- Se completa el volumen con agua destilada.
- Se mezcla bien.
- Se filtra a través de papel filtro y se pasa el filtrado al área de lectura de la muestra.

Lectura de la muestra (analista de turno):

- Se verifica el cero (0) en el polarímetro utilizando el tubo de polarizar de 200 mm con agua destilada.
- Se enjuaga el tubo con el filtrado (2 veces), se llena y hace la lectura.
- Se calcula el porcentaje de sacarosa en la cachaza, utilizando la siguiente ecuación: % de sacarosa = lectura de Pol.

Preparación de la muestra para el análisis de humedad:

- Pesar el platillo de aluminio (P1).
- Tarar y pesar en el platillo de aluminio una cantidad de muestra aproximada de 2 a 4 g, selec-

cionar la temperatura de 110 °C (P2).

- Poner en funcionamiento el desecador por 30 minutos o hasta peso constante.
- Bajar la tapa superior del desecador y presionar la tecla de inicio (el equipo empieza su trabajo de evaporación de agua y pesaje).
- Leer y anotar el valor de porcentaje de humedad, que aparece en la pantalla, y retirar el platillo de aluminio con la muestra seca.

2.3 Optimización simultánea

Mediante la metodología de optimización simultánea, se determinó la combinación de niveles en los factores (velocidad de tambor y presión de agua) que proporcionan una solución óptima, para humedad y sacarosa bajas. Esta optimización se realizó por el método gráfico, el cual consiste en superponer dos curvas de nivel para cada variable de respuesta e identificar gráficamente regiones factibles donde las respuestas cumplen los requerimientos. Cuando los factores de control son tres, la región experimental es un cubo (o esfera) centrado en el origen y se puede dibujar una superposición de las k superficies de contornos sobre cada corte del cubo, lo cual implica fijar cada vez uno de los factores de control. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*).

3. Resultados y discusión

3.1 Diseños factoriales 2k y optimización simultánea para cada filtro

Se realizó diseño factorial 2k para cada uno de los filtros; el factor velocidad se trabajó de 15 a 50 rpm

y el factor presión de agua de 10 a 15 psi. En total, para cada filtro fueron cuatro tratamientos, con dos réplicas; en todas las combinaciones de los niveles de los factores se evaluó el contenido de sacarosa y humedad. Los resultados fueron procesados en el paquete estadístico Minitab 15, con un nivel de confianza del 95%.

3.2 Resultados diseños factoriales con interacción para cada filtro

Tabla 3. Resumen resultados P-valor Anova para sacarosa con interacción

Resultados Anova para sacarosa con interacción $\alpha = 0,05$						
Factor/ interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad	0,021	0,011	0,025	0,032	0,024	0,054
Presión	0,531	0,960	0,886	0,768	0,302	0,872
Velocidad *presión	0,813	0,150	0,084	0,518	0,493	0,708
R-Adj	61,10%	74,47%	67,66%	53,17%	62,12%	39,03%

En la Tabla 3 y la Tabla 4 se observa que no existe efecto de interacción entre la velocidad del filtro y la presión de agua en ninguno de los seis filtros, puesto que el p-valor de la interacción es significativamente mayor que α (0,05) para ambas variables respuesta (sacarosa y humedad); es decir, no hay relación

entre la velocidad del tambor del filtro y la presión de agua de lavado que influya en la variación de la cantidad de sacarosa y humedad en cachaza. Por lo tanto, se puede afirmar con un 95% de confianza que los factores velocidad del tambor y presión de agua son independientes.

Tabla 4. Resumen de resultados P-valor Anova para sacarosa con interacción

Resultados Anova para humedad con interacción $\alpha = 0,05$						
Factor/ interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad	0,022	0,139	0,137	0,063	0,162	0,032
Presión	0,027	0,025	0,029	0,389	0,029	0,629

Continuación Tabla 4

Resultados Anova para humedad con interacción $\alpha = 0,05$						
Factor/ interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad* presión	0,178	0,977	0,131	0,792	0,538	0,960
R-Adj	77,78%	64,32%	64,84%	39,33	61,98%	52,41%

En la Tabla 5 y la Tabla 6 se observan los resultados del Anova sin interacción para las variables respuesta sacarosa y humedad en cachaza.

3.3 Resultados de diseños factoriales sin interacción para cada filtro

En la Tabla 5 y la Tabla 6 se resumen los resultados en términos de P-valor para el Anova sin interacción de la variable sacarosa y de la variable humedad, en cada uno de los filtros.

Para la variable sacarosa en cachaza se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que la velocidad es el factor que ejerce mayor influencia en el comportamiento de esta variable, puesto que su P-valor es menor que $\alpha = 0,05$, en los seis filtros, como se observa en la Tabla 5. De acuerdo con los coeficientes de determinación (R2-Adj) obtenidos en los modelos de cada uno de los filtros, se puede afirmar que estos explican en promedio el 56,25% de la variabilidad observada en la variable sacarosa.

Tabla 5. Resumen de resultados P-valor Anova para sacarosa sin interacción

Resultados Anova para sacarosa sin interacción $\alpha = 0,05$						
Factor /interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad	0,010	0,013	0,049	0,019	0,014	0,032
Presión	0,481	0,967	0,915	0,753	0,271	0,858
R2-Adj	68,39%	63,47%	40,12%	57,84%	65,39%	49,26%
S (error estándar)	0,063	0,048	0,091	0,396	0,061	0,056
SC efectos principales	0,068	0,032	0,055	1,825	0,057	0,027
SC error puro	0,019	0,006	0,017	0,698	0,016	0,015

El nivel del factor velocidad del tambor en el cual se obtiene sacarosa en cachaza más bajo es 15

rph, en cinco de los seis filtros, de acuerdo con las gráficas de contorno elaboradas para cada uno de los

filtros. Para la variable humedad en cachaza (Tabla 6) en el filtro 1, los factores velocidad y presión tienen influencia en su variabilidad (P-valor < 0,05 en estos factores); mientras que para los filtros 2, 3 y 5 el factor de mayor influencia es presión y para los filtros 4 y 6 es velocidad, como se puede observar en la Tabla 6. Al priorizar en el filtro 1 el factor que tiene mayor influencia sobre la variable humedad, mediante los valores del estadístico "T", se determina que para el filtro 1 el factor más importante es velocidad,

puesto que su valor "T" es más alto que el de presión (ver Tabla 6). De acuerdo con esta información, para los filtros 1, 4 y 6 el factor que mayor influencia tiene sobre la variable humedad es velocidad, y para los filtros 2, 3 y 5 el factor que mayor influencia tiene sobre la variable respuesta humedad es presión. Por tanto, se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que de manera independiente ambos factores (velocidad y presión) influyen en el comportamiento de la variable humedad en cachaza.

Tabla 6. Resumen de resultados P-valor Anova para sacarosa sin interacción

Resultados Anova para humedad sin interacción $\alpha = 0,05$						
Factor /interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad	0,025	0,094	0,193	0,037	0,129	0,015
Presión	0,032	0,011	0,042	0,334	0,017	0,585
R-Adj	78,28%	71,45%	52,13%	50,50%	66,15%	61,90%
S (error estándar)	0,062	0,825	1,996	1,576	1,866	0,878
SC efectos principales	7,190	13,300	38,369	22,720	54,624	10,320
SC error puro	1,157	3,406	10,519	12,186	15,650	3,855
T velocidad	3,16	3,76	2,58	3,39	3,70	2,96
T presión	2,95	0,04	-0,11	0,33	-1,24	0,19

Los coeficientes de determinación R²-Adj de los Anova para humedad en general son altos; por tanto, se confirma que los factores en cada uno de los modelos explican en gran parte la variabilidad de la variable respuesta humedad en cachaza. El

error estándar en cada uno de los modelos es alto, quizá debido a la dificultad de mantener durante el tiempo de la prueba en algunos casos el nivel de la presión de agua, dado que ocasionalmente se presentaba una oscilación del valor

de presión en torno al valor que se estableció, debido a un aumento inesperado del caudal de agua que entraba al proceso de filtrado.

Los niveles de los factores velocidad y presión que generan un bajo contenido de humedad en la cachaza se pueden observar en la Tabla 7 para cada uno de los seis filtros.

Tabla 7. Niveles de los factores para contenido de humedad bajo en cachaza

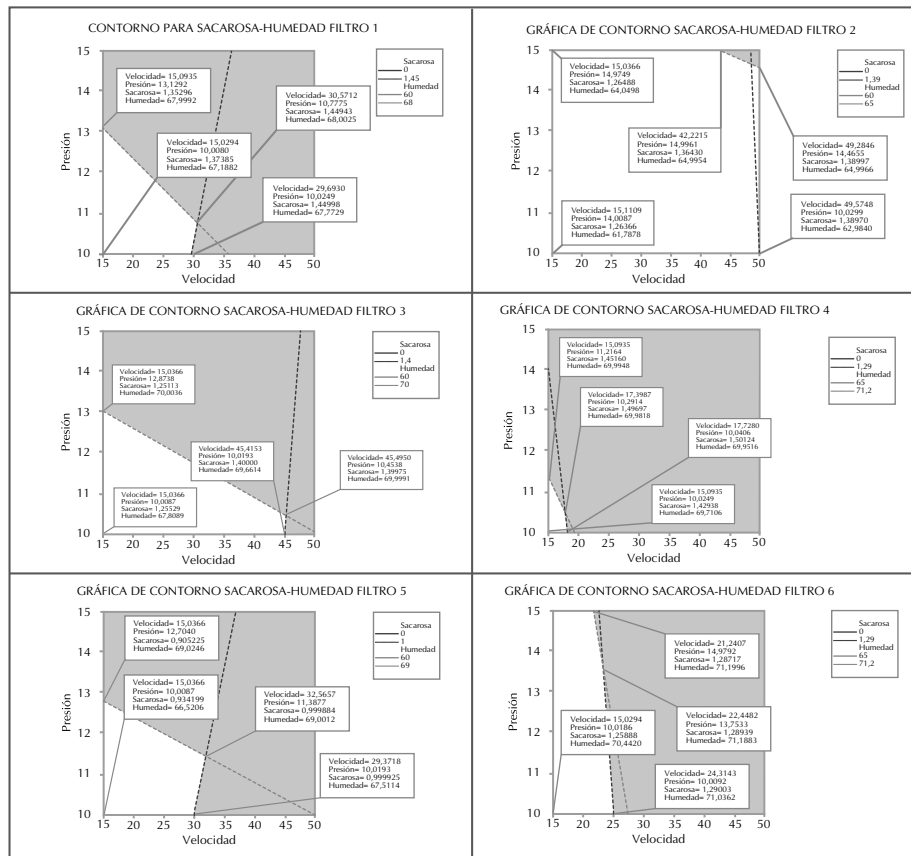
Niveles de factores para contenido de humedad bajo en cachaza						
Factor /interacción	Filtro 1 (P-valor)	Filtro 2 (P-valor)	Filtro 3 (P-valor)	Filtro 4 (P-valor)	Filtro 5 (P-valor)	Filtro 6 (P-valor)
Velocidad	15 rph	15 rph	15 rph	15 rph	15 rph	15 rph
Presión	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi

Como se desea más que un punto o condiciones fijas donde sacarosa y humedad tengan valores bajos en la cachaza de manera independiente, se procede a realizar optimización simultánea mediante una “gráfica de contorno sobrepuesta” donde se muestre la región de trabajo en la cual se puedan obtener sacarosa y humedad en cachaza bajas, simultáneamente.

3.4 Resultados de optimización simultánea

En la Gráfica 1 se muestra la región en la cual simultáneamente se obtienen sacarosa y humedad en cachaza bajas para cada uno de los filtros. Esta región está delimitada por las restricciones que tiene cada uno de los filtros para cada una de las variables respuesta (sacarosa y humedad en cachaza).

Gráfica 1. Gráficas de contorno sobrepuesto para cada uno de los seis filtros



En la Tabla 8 se encuentra la comparación para el valor de sacarosa en cada uno de los filtros, generada por la operación en los rangos actuales de los factores, contra el valor máximo predicho para saca-

rosa en la región de trabajo encontrada para cada filtro y trabajada de acuerdo con los rangos de los factores que se establecieron mediante diseño experimental.

Tabla 8. Condiciones propuestas encontradas mediante diseño experimental vs. actuales

Filtros	Condiciones actuales		
	Velocidad tambor (RPM)	Presión de agua (PSI)	Sacarosa en cachaza
Filtro 1	40-50	10-15	0-2,1
Filtro 2	40-50	10-15	0-1,95

Filtros	Condiciones actuales		
	Velocidad tambor (RPM)	Presión de agua (PSI)	Sacarosa en cachaza
Filtro 3	40-50	10-15	0-1,64
Filtro 4	40-50	10-15	0-2,14
Filtro 5	40-50	10-15	0-1,47
Filtro 6	40-50	10-15	0-1,81
Promedio actual			1,85

Condiciones propuestas		
Velocidad tambor (RPM)	Presión de agua (PSI)	Sacarosa en cachaza
15-30	10-13	0-1,45
15-49	10-15	0-1,39
15-45	10-13	0-1,4
15-18	10-12	0-1,5
15-33	10-13	0-1
15-25	10-15	0-1,29
Promedio propuesta		1,34

Prueba de comparación de medias (sacarosa condiciones actuales vs. propuestas)

Ho: $\mu_{\text{condiciones actuales}} = \mu_{\text{condiciones propuestas}}$

Ha: $\mu_{\text{condiciones actuales}} \neq \mu_{\text{condiciones propuestas}}$

Criterio de decisión: rechazo Ho si P-valor < α (0,05).

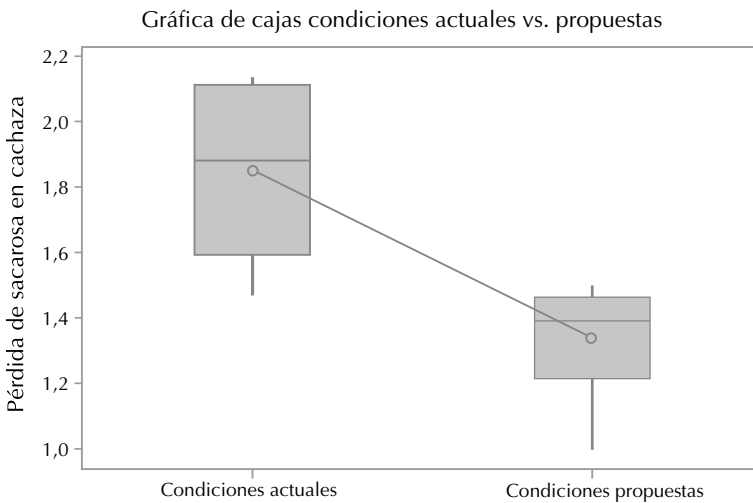
Tabla 9. Prueba T para comparación de medias, condiciones actuales vs. propuestas

<p>Prueba T e IC de dos muestras: C actuales, C propuestas</p> <p>T de dos muestras para condiciones actuales vs. condiciones propuestas</p> <p>Media del error</p> <p>N Media desviación estándar</p> <p>C actuales 6 1,852, 0,263, 0,11</p> <p>C propuestas 6 1,338, 0,180, 0,073</p> <p>Diferencia = μ (C actuales) - μ (C propuestas)</p> <p>Estimado de la diferencia: 0,513</p> <p>Límite inferior 95% de la diferencia: 0,277</p> <p>Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 3,94 Valor P = 0,001 GL = 10</p>
--

La prueba T realizada (Tabla 9) para determinar si la media de los valores de sacarosa obtenidos mediante las condiciones actuales es diferente a la media de los valores de sacarosa obtenidos mediante las condiciones propuestas confirma,

con un nivel de confianza del 95%, que los valores de sacarosa obtenidos mediante cualquiera de las dos condiciones es diferente, puesto que P-valor = 0,001 es significativamente menor que el $\alpha = 0,05$ y no se rechaza H_0 .

Gráfica 2. Cajas condiciones actuales vs. propuestas



La gràfica anterior evidencia que la sacarosa en cachaza generada per les condicions de operació proposades és més baixa que la obtinguda amb les condicions de operació actuals.

4. Consideraciones

La regió de treball proposada per a cada un dels filtres permet reduir en promig el 28% de la pèrdua de sacarosa en cachaza i mantenir una humedat baixa (60%-

70%), lo que representaria per al ingenio un estalvi anual en el àrea de filtració de cachaza.

La estabilitat del procés de filtració de sacarosa en cachaza (global) se considera regular, pués se presenten variacions assignables que se evidencien fàcilment en una gràfica de control; de les variacions més destacables estan les ocasionades per un par programat, que si se evaluan de manera individual podrien considerarse com a causes aïllades;

sin embargo, al mirar el contexto global, estas obedecen a una sola causa raíz que, aunque justificada, puede ser fuente de ruido en un análisis. Por tanto, en los procesos industriales se hace necesario, más que procesar datos, comprender el proceso del cual vienen y su entorno.

Al hacer el análisis de varianza para los filtros se determinó que existen diferencias entre ellos en el valor de sus medias; con el análisis de comparación de medias de Tukey al 95% se determinó que los filtros se pueden clasificar en dos grupos: los que cumplen ($LSE < 2$) y los que no cumplen ($LSE > 2$), lo cual fue corroborado por los intervalos de confianza de la pérdida de sacarosa en cachaza para cada filtro.

La interacción resultante del diseño factorial $2k$ entre los factores velocidad del tambor y presión de agua no ejerce un efecto significativo sobre el comportamiento de las variables respuesta sacarosa y humedad en cachaza; es decir, la velocidad del tambor y la presión de agua son estadísticamente independientes.

Para la variable sacarosa en cachaza, el factor que ejerce mayor influencia en su comportamiento es la velocidad, puesto que una velocidad mayor en el tambor del filtro es inversamente proporcional al tiempo de permanencia de la torta en los ciclos de lavado y de presión de alta, lo cual contribuye en con-

junto a mejorar la extracción del jugo dulce presente en la cachaza.

Para la variable humedad, tanto la velocidad del tambor del filtro como la presión de agua influyen en su comportamiento, lo cual es explicable puesto que la influencia de la presión de agua es directamente proporcional con respecto al contenido de humedad, mientras que la velocidad tiene un efecto inversamente proporcional sobre esta variable respuesta.

Para un mejor desempeño en filtros, se debe tener en cuenta la región de trabajo de cada uno, puesto que todos funcionan en rangos de trabajo diferentes.

La función de deseabilidad inicialmente fue usada para encontrar los niveles de factores (velocidad y presión de agua) que proporcionarían el contenido de sacarosa y humedad más bajos; sin embargo, esta técnica solo daba la solución como un punto estático; por tanto, se recurrió al uso de la optimización simultánea mediante método gráfico, el cual da un rango de trabajo, lo que es más conveniente para este tipo de procesos.

La estadística industrial permite encontrar soluciones, como en este caso, que no requieren inversión en la modificación de equipos, solo en las condiciones de operación de estos.

Los resultados puntuales de este estudio son válidos para la tecnología en la cual fue realizado; para el abordaje de problemas similares se requiere previamente caracteri-

zar los equipos, hacer el análisis de causa-efecto, análisis R&R del sistema de medición, determinación de factores y sus niveles, para determinar la(s) variable(s) respuesta.

REFERENCIAS

Albarracín, P. M., Paz, D., & Octaviano, M. A. (2005). *Utilización de los esteres de sacarosa como coadyudantes en filtros rotativos de la industria azucarera*. 1-2(82).

Bahena Quintanilla, M. (s. f.). *Aplicación de la metodología seis sigma para mejorar la calidad y productividad de una planta de bebidas*. Tesis de maestría en ingeniería de la calidad. México: Universidad Iberoamericana de Puebla.

Chen, J., García Ferrer, C. A., & Álvarez Medina, C. (1991). *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa S. A.

Correloa Marcial, V. (2004). *Propuesta de un modelo de mejora continua utilizando la metodología Six Sigma como una estrategia de negocio para los proveedores de la industria automotriz nacional*. México: Instituto Politécnico Nacional de México.

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México: McGraw-Hill.

_____. (s. f.). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.

Hinkelmann, K., & Kempthorne, O. (2005). *Design and analysis*

of experiments: Advances experimental design. Canadá: John Wiley & Sons, Inc.

Hoon Kwak, Y., & T. Anbari, F. (2006). Benefits, obstacles, and futur of six sigma approach. *Techonovation*, 26.

Gryna, M. F., Chua, H. R. C., & Defeo, A. J. (2007). *Método Juran: Análisis y planeación de la calidad*. (M. Jesús Herrero, & M. Amieva Lavigne, Trads.) México: McGraw-Hill.

Montgomery C., D. (2007). *Control estadístico de la calidad*. México: Limusa Wiley.

Rueda Blanco, L. C. (2007). *Aplicación de la metodología seis sigma y lena manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables*. México: Instituto Politécnico Nacional de México.

Pande, S. P., & Holpp, L. (2003). *¿Qué es seis sigma?* México: McGraw-Hill.

Pande, S. P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2003). *Las claves de seis sigma*. España: McGraw-Hill.

Velázquez Nava, D. E. (2009). *Aplicación de seis sigma en un laboratorio de análisis clínicos*. México: Instituto Politécnico Nacional de México.

Fuentes de variación que tienen efecto sobre los atributos sensoriales de taza en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia

Sources of variation and its effects on the coffee cup sensory attributes in coffee (*Coffea arabica*) agroforestry systems in Southern Colombia

Engelberto Rodríguez Burgos, investigador grupo de investigación Yamboró
engelberto.rodriquezbu@misena.edu.co

Gustavo Adolfo Vega Cano, investigador grupo de investigación Yamboró
gavega@misena.edu.co

Juan Carlos Suárez Salazar, vicerrector de la Universidad de la Amazonía
juansuarez1@gmail.com

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano
Regional Huila

FECHA DE RECEPCIÓN: 28 DE MARZO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 19 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

En este documento se presentan resultados de la evaluación sensorial de la calidad en taza asociada a los diferentes arreglos agroforestales de producción de café que se desarrollan en el municipio de Timaná, en el departamento del Huila. Se caracterizaron variables de producción, manejo agronómico y especialmente características químicas del suelo, los cuales mediante un análisis estadístico multivariado arrojaron resultados que corroboran investigaciones realizadas en Costa Rica y aportan nuevo conocimiento en el efecto entre las características químicas del suelo y la calidad en taza del café.

Palabras claves: café, producción cafetera, agronomía, química del suelo.

ABSTRACT

In this document, the reader may see the results of the sensory evaluation of the coffee cup's quality related to the different agroforestry modifications in the coffee production process in the Timaná municipality (Huila). Production variables, agriculture management terms and specially soil chemistry characteristics were typified, which through an statistical multivariate analysis ended up in results which affirmed investigations done in Costa Rica and contributed fresh knowledge on the effect between the soil chemistry characteristics and the coffee cup's quality.

Keywords: Coffee, Coffee Production, Agronomy, Soil Chemistry.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del café es la actividad económica que más aporta en el valor de la producción del subsector agrícola en el departamento del Huila, con una contribución del 57,52% (Plan de Desarrollo Departamental Huila 2008-2011), siendo competitivo a nivel nacional por tener características de cafés como “taza limpia”, especiales y orgánicos (Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad, 2007). Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010), el departamento del Huila reporta un área cultivada con café, abarca 116.833,02 ha, en las cuales se encuentran dos sistemas de producción principales, como el tradicional y el tecnificado (94% del área total), con producción en promedio de 4 y 15 cargas de café pergamino seco por ha al año, respectivamente.

Para lograr una exitosa producción en cuanto a cantidad y calidad de grano, se requiere entender diversos factores que inciden en la obtención de un producto que cumpla con las exigencias del mercado. En la actualidad se han generado nichos de mercado cuya exigencia es obtener cafés de alta calidad con atributos sensoriales especiales. Avelino *et. al.* (2002) mencionan cuatro factores no genéticos relacionados con la calidad de bebida del café (altitud, pluvio-metría, acidez del suelo y la sombra) y dos factores genéticos (producción

y granulometría). Algunos de los mencionados factores tienen mayor o menor grado de incidencia sobre la calidad, como lo señalan Vaast *et. al.* (2006) en un estudio realizado en Costa Rica en cultivos de café variedad *Coffea arabica* cv., cuyo nivel de sombra (40%) afectó su maduración, por consiguiente la calidad de la bebida. Así mismo, Avelino *et. al.* (2005) mencionan que mayores altitudes junto con un mayor número de horas de exposición de la pendiente al sol son factores que favorecen una mejor calidad de bebida del café.

Se han realizado distintas investigaciones para lograr explicar las diferentes fuentes de variación que tienen incidencia sobre los atributos sensoriales. Este estudio, en especial, tiene como objetivo tratar de encontrar las posibles relaciones entre condiciones de manejo, altura y nivel de sombra; además, hace énfasis en tratar de explicar cuáles son las características del suelo que se relacionan con los atributos sensoriales.

1. Materiales y métodos

1.1 Caracterización de sitios seleccionados

La obtención de datos en la fase de campo consistió en la selección de lotes en fincas y colecta de la muestra de café para los análisis de las características de suelo y los atributos de calidad de taza.

Se colectaron un total de 54 muestras en fincas que hacen parte de la Asociación de Productores Agrícolas de Timaná en el departamento del Huila (Colombia). Para la selección de las muestras en cada una de las fincas se utilizó el proceso seguido por Lara (2005). Las muestras y datos fueron tomados en lotes o plantíos dentro de las fincas visitadas. La selección de lotes de café dentro de la finca se realizó en función de los factores en estudio. Se trató de seleccionar niveles contrastantes tanto para altitud, sombra y rendimiento. Las muestras se obtuvieron en campo de dos formas: la primera fue tomar el que ya había sido cosechado del lote por el productor; la segunda fue cortar el café directamente de los cafetos en el lote. Se tomaron en promedio muestras de 9 kg de café cereza. Se seleccionaron solamente cerezas maduras (rojas).

1.2 Parámetros químicos del suelo

Se hicieron las siguientes determinaciones químicas: pH medido en agua (relación suelo:agua de 1:2), aluminio (Al) intercambiable por diferencia de titulación de la acidez y el hidrógeno (H) intercambiable, la M. O. mediante Walkley-Black (1934), el nitrógeno (N) total por Kjeldahl, el fósforo (P) asimilable por Bray II. El calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) intercambiables mediante el método de extracción por lixiviación con acetato de amonio y determinados con absorción

atómica. El hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) se extrajeron mediante el método de extracción DTPA y fueron determinados por absorción atómica.

1.3 Información del manejo agronómico y rendimiento

A partir de una encuesta se definió en conjunto con el productor el rendimiento del lote (kg ha⁻¹), así como las actividades de manejo realizadas al cultivo. Se definieron el número de aplicaciones y tipo de fertilizantes, control de malezas, plagas y enfermedades, densidades de siembra y cronograma de actividades.

1.4 Evaluación sensorial de las muestras de café

Esta fase se desarrolló de abril a mayo del 2012, consistió en la evaluación sensorial de la infusión. Las muestras de 250 g de los granos se tostaron durante 11 minutos con una temperatura inicial de 200 °C a un estándar de color amarillo rojizo. El color fue controlado usando el Agtron/SCAA # 85 utilizando el sistema de clasificación de colores (Staub, 1995). Todas las muestras de café tostado se molieron al tamaño de partícula intermedia recomendada inmediatamente antes de la evaluación de la calidad de la bebida. Se utilizaron cinco tazas por muestra, a las cuales se les agregaron 10 g de agua (150 ml a 97 °C) y se evaluaron atributos

sensoriales como fragancia, aroma, acidez, sabor, cuerpo, dulzura, preferencia y puntuación final.

La fragancia es la sensación de gases que se desprenden del café molido. El aroma es la sensación de los gases liberados de café preparado. A la fragancia y al aroma se les asignó un valor. La acidez es una medida de la intensidad de la sensación ácida. El sabor residual es el sabor que queda en la boca después de haber probado la bebida de café. El cuerpo es la sensación bucal de la viscosidad, y especialmente peso. El sabor es la percepción del sabor de la bebida de café en la lengua.

Los atributos se calificaron en una escala de 1-10 con 0,5 incrementos de punto, utilizando el protocolo de catación de la Specialty Coffee Association of America (Lingle, 2001). Las muestras fueron evaluadas por un panel de tres catadores profesionales "Q Grader" de Coffee Quality Institute® en el Laboratorio de Calidad de Café del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano del SENA Pitalito.

1.5 Análisis estadístico

Para cada una de las muestras de suelos y atributos sensoriales de calidad de taza se realizó análisis de estadística descriptiva (medias y frecuencias de las variables). Para las características de suelo se analizaron los componentes principales para

encontrar las relaciones entre las variables. En relación con los atributos del análisis sensorial, se elaboraron tablas de contingencia para la transformación de variables cuantitativas a cualitativas para los Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), y agrupación de K-medias. Asimismo, se realizó un Scatterplot Matrix para encontrar la relación entre atributos y Scatter Plot con variables adicionales utilizando el paquete R versión 2.15 (R Development Core Team, 2012) mediante la plataforma independiente para análisis estadísticos R Commander (Fox, 2005) basado en el paquete FactoMineR (Husson *et al.*, 2012) para el análisis exploratorio multivariado.

Mediante este análisis se observa la asociación entre las variables, de manera que se encontrara simultáneamente un gran número de los objetos (muestras) muy próximos entre sí. El Análisis de Correspondencias Múltiple (ACM) es una técnica exploratoria que permite representar gráficamente filas y columnas de una tabla de contingencia (Greenacre, 1984; Lebart *et al.*, 1984). La técnica de ACM también constituye una herramienta de principal importancia para el análisis de datos textuales donde se construyen tablas de contingencia relacionando el uso de varios vocablos entre distintos textos de discurso. El ACM puede ser interpretado como una técnica complementaria y a veces suplementaria del uso de modelos log-lineales para el estu-

dio analítico de las relaciones contenidas en tablas de contingencia y permite explorar gráficamente estas relaciones (Balzarini *et al.*, 2008). Al final se corrió un análisis de PLS (del inglés Partial Least Squares) para determinar la relación entre la matriz de características del suelo y los atributos sensoriales de taza.

2. Resultados y discusión

Se presentaron características diversas entre los lotes de café muestreados. Los rangos de altura oscilaron entre 1.239 y 1.820 m s. n. m. con

un área promedio de fincas de 3,97 ± 0,30 ha y edad del cultivo en promedio de 3,88 ± 0,08 años. En el Cuadro 1 se muestra cada una de las categorías para la variable altura, nivel de sombra, densidad de siembra y tiempo de fermentación. Se presentaron diferencias significativas para cada uno de los rangos generados (P < 0,001). La mayoría de las muestras eran provenientes de lotes de bajas alturas con niveles de sombra menores del 20% con densidades de siembra de entre 4.000 y 5.200 árboles/ha-1 y su manejo con respecto al tiempo de fermentación debía estar entre 24 y 48 horas.

Cuadro 1. Características de los lotes muestreados en el municipio de Timaná (Huila)

	Altura			Nivel de sombra			Densidad de siembra			Tiempo de fermentación					
	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n			
1.239-1.432	1.357,40 ± 13,41	a*	20	<20	4,25 ± 0,99	a	40	4.000-5.200	4.562,07 ± 68,30	a	29	12-24 h	15,75 ± 0,94	a	12
Intermedia	1.528,00 ± 10,79	b	22	20-40	34,38 ± 2,20	c	8	5.200-6.200	5.588,89 ± 57,81	c	18	24-48 h	38,22 ± 0,67	b	37
>1626	1.723,42 ± 14,87	c	12	>40	51,67 ± 1,67	b	6	>6.200	6.965,71 ± 139,50	b	7	>48 h	56,00 ± 2,45	c	5
Total	1.508,24 ± 20,22				13,98 ± 2,47				5.215,93 ± 121,09				34,87 ± 1,66		
P-valor	<0,0001			<0,0001			<0,0001			<0,0001					

*Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de LSD Fisher al 5%.

Del procesamiento estadístico se formaron tres grupos a partir de los atributos sensoriales, obteniendo tres calidades de taza, las cuales fueron estadísticamente diferentes (P < 0,001). Los grupos se formaron con los principales atributos organolépticos: acidez, balance,

cuerpo y calificación. El grupo denominado Q1 es el peor y el Q3 es el de mayor calificación (Cuadro 2). En general, se encontraron tazas de acidez media-baja y términos cualitativos opacos; en cuanto al balance en taza, es catalogado como bajo en cuerpo en relación con la acidez y

dulzura; por lo tanto, está desbalanceado. El cuerpo es medio-bajo catalogado como cuerpo ligero o

caído; los puntajes otorgados por el panel de catadores fueron “bueno”.

Cuadro 2. Promedio de los atributos sensoriales a través del agrupamiento según calidad de café

Calidad de café	Acidez		Balance		Cuerpo		Calificación		n
	Media	E. E.	Media	E. E.	Media	E. E.	Media	E. E.	
Q1	7,09 ± 0,03	a*	7,11 ± 0,04	a	7,09 ± 0,03	a	7,15 ± 0,03	a	27
Q2	7,60 ± 0,05	b	7,44 ± 0,12	b	7,33 ± 0,06	b	7,55 ± 0,03	b	13
Q3	7,90 ± 0,04	c	7,88 ± 0,14	c	7,79 ± 0,05	c	7,97 ± 0,05	c	14
Total	7,42 ± 0,05		7,39 ± 0,07		7,33 ± 0,05		7,46 ± 0,05		
P-valor	<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		

*Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de LSD Fisher al 5%.

En el Cuadro 3 se muestra el promedio para los atributos sensoriales según el sabor, sabor residual y fragancia/aroma. Se presentaron diferencias significativas para cada variable ($P < 0,001$). Para el sabor y sabor residual, el valor encontra-

do en promedio fue de $7,38 \pm 0,04$ y $7,29 \pm 0,04$, respectivamente. Fragancia/aroma fue en promedio $7,76 \pm 0,06$, siendo el S1 el mejor. Le siguen el S2 y S3, al igual que para el sabor residual (SR) y fragancia/aroma (Fr).

Cuadro 3. Promedios para los atributos sensoriales según el sabor, sabor residual y fragancia/aroma

	Sabor			Sabor residual			Fragancia/aroma			
	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	
S1	7,11 ± 0,02	a*	29,00	SR1	7,10 ± 0,02	a 39	Fr1	7,28 ± 0,05	a	17
S2	7,54 ± 0,02	b	14,00	SR2	7,54 ± 0,02	b 9	Fr2	7,76 ± 0,03	b	19
S3	7,86 ± 0,03	c	11,00	SR3	7,90 ± 0,04	c 8	Fr3	8,20 ± 0,03	c	18
Total	7,38 ± 0,04				7,29 ± 0,04			7,76 ± 0,06		
P-valor	<0,0001			<0,0001			<0,0001			

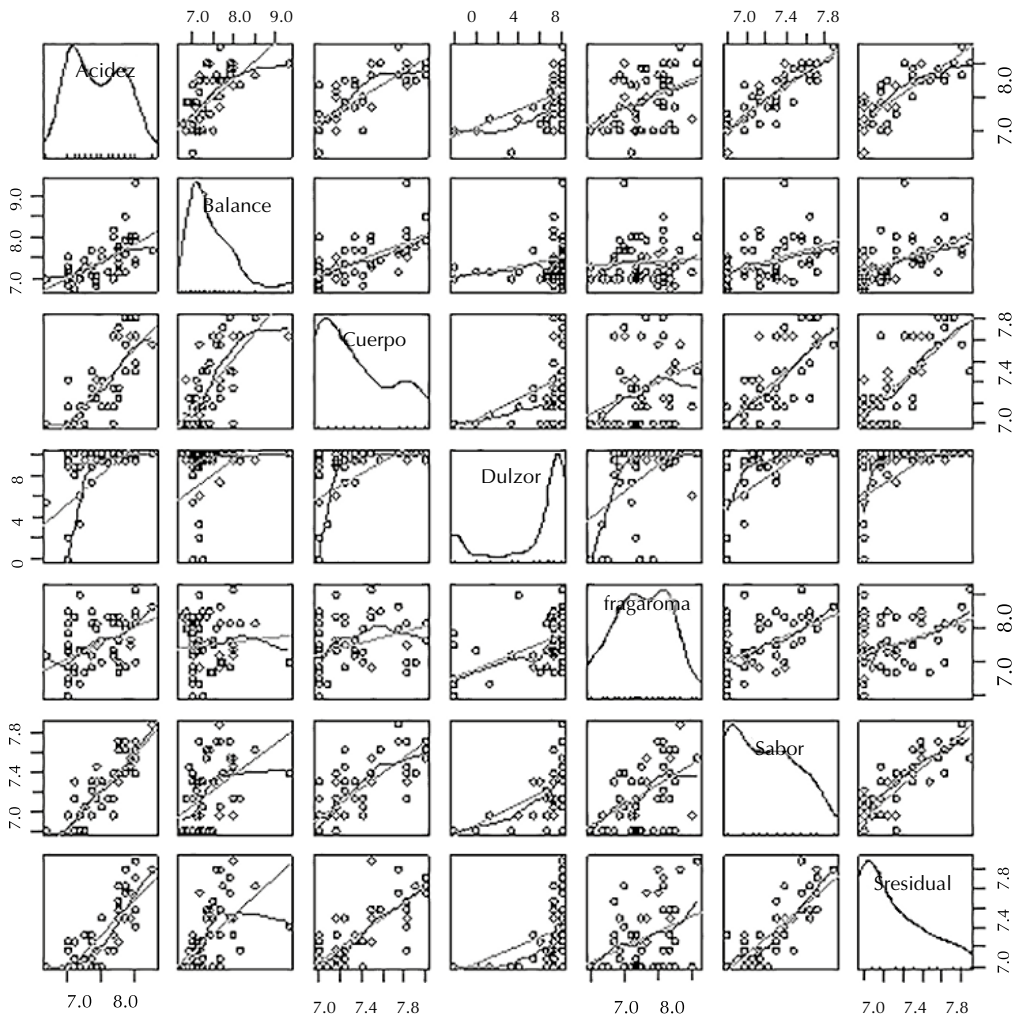
*Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de LSD Fisher al 5%.

2.1 Relación entre atributos sensoriales en taza

En la Figura 1 se muestran las tendencias lineales entre las relaciones de cada atributo sensorial en taza. En general, todas las tenden-

cias fueron positivas. Se encontró relación entre acidez con balance, cuerpo, sabor y sabor residual. Como la fragancia/aroma es un atributo de la memoria sensorial del catador, no presentó relación alguna con los otros atributos.

Figura 1. Matriz de diagrama de dispersión entre cada uno de los atributos sensoriales en taza

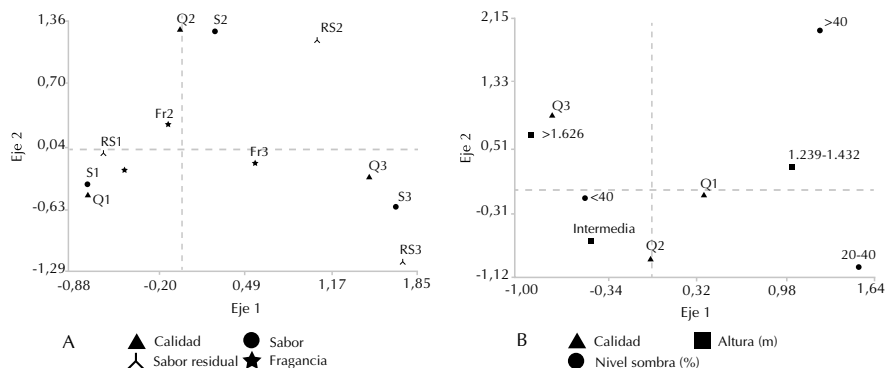


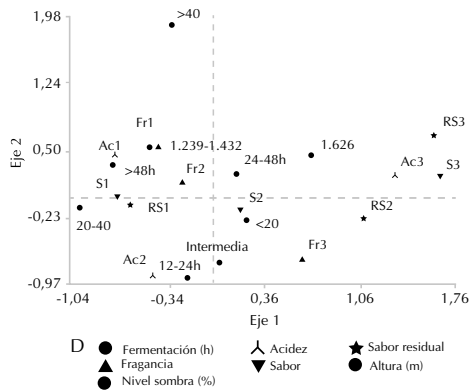
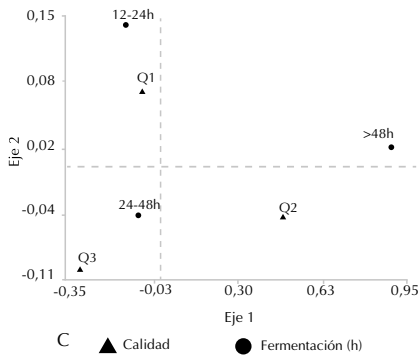
2.2 Relación entre los atributos sensoriales, calidad de taza, altura y manejo

En la Figura 2 se muestran las diferentes relaciones que tienen incidencia en la calidad de taza y los atributos sensoriales. Se encontró una clara relación entre la calidad de taza (Q) en relación con los atributos sensoriales como sabor (S), sabor residual (RS) y fragancia/aroma (Fr) (Figura 1). Los resultados obtenidos en el presente estudio son contrarios a los encontrados por Banegas (2009), quien no halló relación alguna entre las variables mencionadas. Se encontró una relación directa en la calidad de taza con la altura donde muestras de café de mayor calidad (Q3) se relacionaron directamente con aquellas mayores a 1.626 m s. n.

m. (>1.626) (Figura 2). Desde que se referenció la incidencia de la sombra sobre la calidad de café (Muscheler, 2001; Guyot *et al.*, 1996) han sido muchos estudios los que han evaluado la mencionada incidencia (Yadessa *et al.*, 2008; Avelino *et al.*, 2007; Vaast *et al.*, 2006; Avelino *et al.*, 2005). Estudios como los realizados por Bosseman *et al.* (2009) en una zona muy cercana a la tomada para la presente investigación encontraron la misma relación sobre calidad de taza. Por otro lado, según Buenaventura y Castaño (2002), no existe un efecto lineal significativo que describa el comportamiento de las variables organolépticas con respecto a la altitud, demostrando que no existe una influencia proporcional ni directa sobre las calidades del café.

Figura 2. Gráfica biplot obtenida a través de un análisis de correspondencias múltiples. A) Relación entre los atributos sensoriales y calidad de taza característicos. Q: calidad de taza; S: sabor; SR: sabor residual; Fr: fragancia/aroma. B) Relación entre la calidad de taza (Q) y altura. C) Relación entre la calidad de taza (Q) y tiempo de fermentación. D) Relación entre atributos sensoriales (S: sabor; SR: sabor residual; Fr: fragancia/aroma), altura (m), nivel de sombra (%) y tiempo de fermentación (horas)





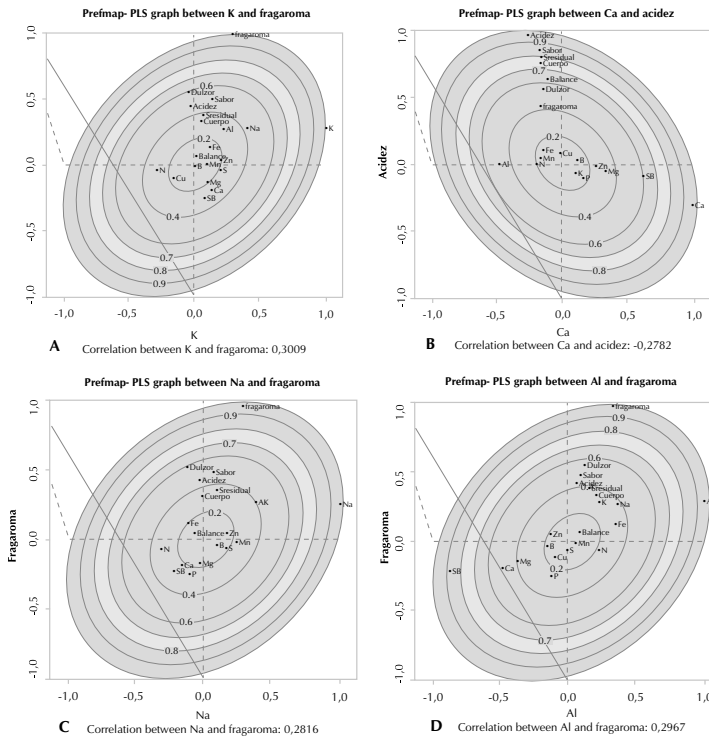
Se encontró una relación entre el nivel de calidad Q3 y el periodo de fermentación entre 24-48 horas (Figura 2), lo cual puede tener incidencia sobre otros atributos sensoriales como la acidez y el dulzor, debido a la transformación de los carbohidratos en alcoholes (Bhumiratana *et al.*, 2011). Barboza y Amaya (1995) encontraron que la fermentación por 30 horas afectó adversamente ($P < 0,05$) las variables aroma del café molido, aroma de la bebida e impresión global, sin afectar el resto de las variables (acidez, amargura, astringencia y cuerpo). La relación entre la altura y los atributos sensoriales de taza es similar a la descrita por Avelino *et al.* (2005), en el Valle de Oroqui (Costa Rica), quienes establecieron que los cafés ubicados a bajas alturas (1.020 y 1.250 m s. n. m.) se caracterizan por tener un sabor más ácido con respecto al café procedente de las regiones de mayor altura (1.550 y 1.780 m s. n. m.). Igualmente, Lara-Estrada y Vasst

(2004) determinaron que la calidad organoléptica (aroma, fragancia, sabor, sabor residual, cuerpo) influyó positivamente en el rango altitudinal de 950 hasta 1.255 m s. n. m. en la región norcentral de Nicaragua.

2.3 Relación entre las características del suelo y atributos sensoriales de taza

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis de correlación entre las características químicas del suelo y los atributos sensoriales en taza. Como el análisis en el presente estudio se enfoca en determinar la relación con atributos sensoriales con las características químicas del suelo, solo se analizará la relación entre estos. Se encontró relación solamente para K ($P < 0,0308$), Na ($P < 0,0461$), y Al ($P < 0,0338$), con fragancia/aroma, Ca y acidez en taza ($P < 0,0444$). En la Figura 3 se muestra Partial Least Squares para cada una de las variables como $P < 0,05$.

Figura 3. Scatterplot con variables adicionales. Relación entre variables sensoriales de taza y características del suelo con $P < 0,05$. A) Ca vs. fragaroma. B) Ca vs. acidez en taza. C) Na vs. fragaroma. D) Al vs. fragaroma



En general, los micronutrientes mostraron una correlación no lineal entre la concentración y calidad. En especial se demuestra que elementos como el calcio, sodio y aluminio tienen incidencia en la variación de los atributos sensoriales. La relación entre el nivel de calcio y la fragancia/aroma encontrada en el presente estudio es similar a lo reportado por Rosas *et al.* (2008). Avelino *et al.* (2002) muestran que el bajo contenido en calcio afecta la calidad del café; los mismos autores reportan también que el exceso de aluminio afecta negativamente la calidad del café.

Los anteriores resultados son similares a los encontrados en el presente estudio.

A pesar de que elementos como el nitrógeno no presentaron incidencia en los atributos de taza, Malavolta (1986) reporta disminuciones en la calidad de taza cuando existen adiciones de este elemento en altas cantidades. En general, con este estudio se puede identificar la necesidad de realizar análisis que permitan encontrar la relación entre los niveles de nutrientes y los atributos sensoriales para así poder tener una conclusión definitiva.

Cuadro 4. Coeficiente de correlación entre elementos de la composición química del suelo y atributos sensoriales en taza (coeficientes y probabilidades)

	pH	M. O.	N	P	K	Mg	Ca	Al	Na	S	Fe			
pH	1,00													
M. O.	-0,02	1,00												
N	-0,01	1,00	<0,0001	1,00										
P	0,18	0,02	0,02	1,00										
K	-0,10	-0,26	-0,26	0,09	1,00									
Mg	0,35	0,0100	-0,12	-0,11	0,08	1,00								
Ca	0,60	<0,0001	-0,21	-0,22	0,11	0,29	0,0371	1,00						
Al	-0,80	<0,0001	0,23	-0,11	0,21	-0,38	0,0055	-0,48	0,0003	1,00				
Na	-0,43	0,0014	-0,29	0,0325	-0,30	0,0279	-0,10	0,40	0,0032	-0,04	1,00			
S	0,23	-0,08	-0,09	0,31	0,0253	0,20	0,11	0,34	0,0134	-0,01	0,17	1,00		
Fe	-0,32	0,0212	0,23	0,15	0,13	-0,17	-0,15	0,38	0,0048	-0,10	0,18	0,18	1,00	
B	0,17	-0,06	-0,07	0,03	-0,01	0,19	0,09	-0,17	0,10	0,10	0,19	0,19	0,14	1,00
Cu	-0,01	0,05	0,04	0,29	0,0358	-0,14	-0,02	-0,09	4,7E-03	0,13	0,01	0,13	0,01	1,00
Mn	-0,30	0,0313	0,06	0,05	0,29	0,0343	0,10	0,08	0,27	0,10	0,15	0,10	0,15	1,00
Zn	0,25	-0,05	-0,06	0,49	0,0002	0,15	0,24	-0,13	0,13	0,57	<0,0001	0,12	-0,27	0,0468
SB %	0,76	<0,0001	-0,28	0,0410	-0,28	0,0396	0,12	0,10	0,50	0,0001	-0,88	<0,0001	-0,23	0,12
Cuerpo	-0,17	0,06	0,05	-0,05	0,05	0,05	-0,20	0,18	-0,01	0,03	0,15	0,03	0,15	1,00
Acidez	-0,05	0,03	0,04	-0,05	-0,03	0,01	-0,28	0,03	-0,04	-0,01	0,13	-0,01	0,13	1,00
Balance	-0,06	-0,10	-0,10	-0,04	-3,0E-03	-1,1E-03	-0,14	0,10	-0,09	0,08	0,04	0,08	0,04	1,00
Sabor	-0,09	0,03	0,03	-0,04	0,12	-0,01	-0,21	0,06	0,02	0,04	0,16	0,04	0,16	1,00
Sabor residual	-0,14	-0,01	-0,02	0,03	0,06	-0,04	-0,20	0,13	0,06	-3,2E-03	0,12	0,06	0,12	1,00
Fragancia/aroma	-0,25	-0,04	-0,04	-0,22	0,30	0,0308	-0,18	0,29	0,0338	0,28	0,0461	0,28	0,16	1,00
Dulzor	-0,13	-0,02	-0,03	0,07	-0,02	-0,24	-0,16	0,13	-0,12	0,07	0,15	0,13	0,15	1,00

REFERENCIAS

- Avelino, J., Barbora, B., Davrieux, F., and Guyot (2007). Shade effects on sensory and chemical characteristics of coffee from very high altitude plantation in Costa Rica. En *Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment*. Second International Symposium on Multi-Strata Agroforestry Systems with Perennial Crops: September 17-21, 2007 Turrialba, Costa Rica.
- Avelino, J., Barboza, B., Araya, J., Fonseca, C., Davrieux F., Guyot, B., Cilas C. (2005). Effects of slope exposure altitude and yield on coffee quality in two altitude terrioris of Costa Rica Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the Science of food and Agriculture* 85, 1869-1876.
- Avelino, J., Savary, S. (2002). Rational and optimezed chemical control of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). In CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche 76 Agronomique pour le Développement) Ed. Recherche et Caféiculture. Montpellier Cedex, FR., 135-143.
- Banegas, K. (2009). *Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad del café (Coffea arabica) en los municipios de El Paraíso y Alauca, Honduras*. Tesis Mag. M. Sc. Catie, Turrialba, Costa Rica.
- Barboza, V., Amaya, F. (1995). Análisis de la calidad del grano y de la bebida del café var. Caturra en función de la maduración y tiempo de fermentación. *Agronomía Tropical* 46(3), 289-311.
- Bhumiratana, N., Adhikari, K., Chambers, E. (2011). Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT - Food Science and Technology* 44, 2185-2192.
- Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A., Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ* 129, 253-260.
- Buenaventura, S. Castaño, C. (2002). Influencia de la altitud en la calidad de bebida de muestras de café procedente del ecotopo 206B en Colombia. *Revista Cenicafé* 53(2), 119-131.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad. Documento Regional Huila. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2002). Información estadística cafetera (En línea). Consultado sep. 2011. Recuperado de: http://federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas/
- Guyot, B., Gueule, D., Manez, J., Perriot, J., Giron, J., Villain, L. (1996). *Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica*. Plantations, recherche, développement. Juillet Août.

- Illy, I. (2001). The factors of quality in green coffee beans. En K. C. a. S. Subhadrabandhu (ed.) *First Asian Regional Round-table on Sustainable, Organic and Speciality Coffee Production, Processing and Marketing*. Royal Project Foundation and FAO, Chiang Mai, Thailand.
- Lara, D. (2005) *Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (Coffea arabica L, Var, Caturra) producido en Sistemas agroforestales de la zona cafetalera Norcentral de Nicaragua*. Tesis Mag. M. Sc. Catie, Turrialba, Costa Rica.
- Lara-Estrada, L., Vaast, P. (2007). Effects of altitude, shade, yield and fertilization on coffee quality (*Coffea arabica L. var. Caturra*) produced in agroforestry systems of the Northern Central Zones of Nicaragua. En *Second International Symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment*. Turrialba, Costa Rica.
- Lingle, T. R. (2001). *The Coffee Cuppers Handbook - A Systematic Guide to the Sensory Evaluation of Coffee's Flavor*, Specialty Coffee Association of America ASIC. 3rd Edition, Long Beach, California, 1-71.
- Malavolta, E. (1986). *Nutrição, adubação e colagem para o cafeeiro. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para lá investigassem del fósforo y potássio. São Paulo, Brasil.
- Muschler, R., 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforest. Syst.* 85, 131-139.
- Plan de Desarrollo Departamental 2008-2011 (s. f.) *Huila naturaleza productiva*. Gobernación del Huila.
- Rosas, A. J; Escamilla, E. P; Ruiz, O. R. 2008. Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana* 26(4), 375-384.
- Staub, C. (1995) *Roast Color Classification System Developed by Agron-SCAAA, 17 Specialty Coffee Association of America ASIC*. Long Beach, California.
- Vaast, P., van Kanten, R., Siles, P., Dzib, B., Franck, N., and Harmand, J. M. (2006). *Shade: a key factor for coffee sustainability and quality*, 887-896. ASIC. Montpellier, France.
- Walkley, A. and I. A. Black (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-37.
- Yadessa, A., Burkhardt, J., Denich, M., Gole, T. W., Bekele, B., and Goldbach, H. (2008). *Effect of Different Indigenous Shade Trees on the Quality of Wild Arabica Coffee in the Afromontane Rainforests of Ethiopia*. Poster presented at 22nd International Conference on Coffee Science (ASIC), held between 14-19 September 2008, Campinas, SP, Brazil.





TIC aplicadas a la **industria**

Desarrollo de una herramienta en Matlab para Sintonización de Controladores PID, utilizando algoritmos genéticos basado en técnicas de optimización multiobjetivo

Development of a tool for tuning in matlab PID controllers, using genetic algorithms based on optimization techniques multiobjective

Brayan René Acevedo Jaimes, ingeniero electrónico de la Universidad Francisco de Paula Santander. Investigador adscrito al Grupo de Investigación en Automatización y Control (GIAC). Miembro estudiante ISA (International Society Automation) sección Colombia
payo_aj29@hotmail.com

Juan Camilo Fonseca Galindo, ingeniero electrónico de la Universidad Francisco de Paula Santander. Investigador adscrito al Grupo de Investigación en Automatización y Control (GIAC). Miembro estudiante ISA (International Society Automation) sección Colombia
juankmilofg@gmail.com

July Andrea Gómez Camperos, ingeniera mecatrónica de la Universidad de Pamplona. Candidata a magíster en controles industriales. Dinamizadora de Tecnoparque Colombia Nodo Ocaña. Investigadora adscrita al Grupo de Investigación en Automatización y Control (GIAC).
julyandreaagomez@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro de Formación CIES
Tecnoparque Colombia Nodo Ocaña
Regional Norte de Santander

FECHA DE RECEPCIÓN: 21 DE MARZO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 16 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

Este documento muestra la versatilidad y eficiencia que presenta el desarrollo de una herramienta en Matlab para sintonización de controladores proporcional, integral y derivativo (PID) utilizando algoritmos genéticos (AG) basado en técnicas de optimización multiobjetivo (MOP) fundamentado en frentes de Pareto, calculando de manera óptima las constantes de ganancia proporcional, ganancia integral y ganancia derivativa (KP, KI, KD) para minimización del error, atenuación del sobrepico máximo y reducción del tiempo de establecimiento en una planta determinada. Se compara el desempeño que tiene la implementación de algoritmos genéticos en dar soluciones a múltiples objetivos en controladores PID; con la sintonización de controladores PID existente en Sisotool de Matlab se simularon diferentes sistemas de control de lazo cerrado conformados por una función de transferencia, su controlador y lazo de realimentación. En estos sistemas se analiza el comportamiento que presentan los controladores al aplicarle un *step* a la entrada de la planta.

Con la fabricación de esta herramienta se pretende optimizar la forma de sintonización de controladores PID que en la actualidad se está utilizando; hoy día no existe ninguna herramienta que ayude de forma estructural al proceso de sintonización sin utilizar un nivel complejo de programación y un amplio conocimiento en control; el uso e integración de una serie de técnicas que permitan obtener una herramienta versátil y eficiente; utilizable en la tarea de sintonización de controladores PID y que con la cual se pueda simular y calibrar a través de métodos de inteligencia computacional evolutiva, sin necesidad de tener profundos conocimiento de programación.

Palabras clave: algoritmos genéticos, optimización multiobjetivo, controlador PID, Matlab, sintonización.

ABSTRACT

This document shows the versatility and efficiency by the development of a tool in Matlab for tuning proportional,

integral and derivative controller (PID) using genetic algorithms (GA), based techniques for multiobjective optimization (MOP) based on Pareto fronts, calculating optimally constant proportional gain, integral gain and derivative gain (KP, KI, KD) for error minimization, mitigation of the maximum overshoot and settling time reduction in a given plant. Performance that is implementing genetic algorithms provide solutions to multiple targets in PID controllers, the tuning of existing PID controllers Sisotool Matlab compares different control systems closed loop formed by a transfer function is simulated, the controller and feedback loop. In these systems the behavior that drivers have to pass on a stair at the entrance to the ground is analyzed.

With the realization of this tool is to optimize the shape of tuning PID controllers currently in use, today there is no tool to help structurally the tuning process without using a complex programming level and extensive knowledge in control, the use and integration of a number of techniques that allow a more versatile and efficient tool, usable in the task of tuning PID controllers which can simulate and calibrate by methods of evolutionary computational intelligence without have profound knowledge of programming.

Keywords: Genetic Algorithms, Multiobjective Optimization, PID, MatLab, Controller Tuning.

INTRODUCCIÓN

Los controladores PID en la actualidad son una de las soluciones más prácticas, confiables y sólidas para el control de procesos industriales. A pesar de que la mayoría de controladores PID funcionan moderadamente bien aplicando reglas de sintonía sencillas, existen procesos que necesitan de un ajuste más preciso para garantizar su óptimo desempeño, de modo que una correcta sintonización de los parámetros de ganancia del controlador conlleva un buen funcionamiento de este.

Por consiguiente, en este documento se implementa una herramienta que da solución a un problema de optimización multiobjetivo de controladores PID en función de tres acciones básicas de control: acción proporcional, integral y derivativa, representando el modelo de la planta por una función de transferencia, su controlador y lazo de realimentación, teniendo como funciones objetivo el error, sobrepico máximo y tiempo de establecimiento. Para optimizar los controladores PID y obtener las constantes óptimas de ganancia (KP, KI y KD) del controlador se utilizaron algoritmos genéticos, que son algoritmos basados en las leyes de selección natural. Además, se maneja un problema de optimización multiobjetivo usando frentes

de Pareto para encontrar los individuos más calificados que satisfagan las funciones objetivo propuestas.

1. Marco conceptual

Uno de los mayores retos de los seres humanos es poder controlar las diferentes tareas que se realizan en la industria: desde prender y apagar un dispositivo con la ayuda de un botón, hasta controlar aeronaves no tripuladas. Los controladores han generado muchos beneficios para la apropiada operación de procesos o sistemas, por lo cual son de gran interés, tanto en sus funcionalidades como en el mejoramiento continuo del desempeño de procesos industriales (M. Claudia, 2006). Por esta razón, el control resulta ser una atractiva área de trabajo para aplicar los algoritmos genéticos y proponer soluciones factibles.

1.1 Controladores PID

El diseño de controladores se realiza en función del conocimiento del proceso, es decir, a partir del modelo del proceso, del esquema de control y de las restricciones que se le imponen al proceso. A diferencia de ello, la sintonización de los controladores se realiza sin que se disponga de dicha información. Todo controlador PID está gobernado por los valores de ciertas constantes que ponderan las ganancias en el controlador, estas se denominan ganancia proporcional, ganancia

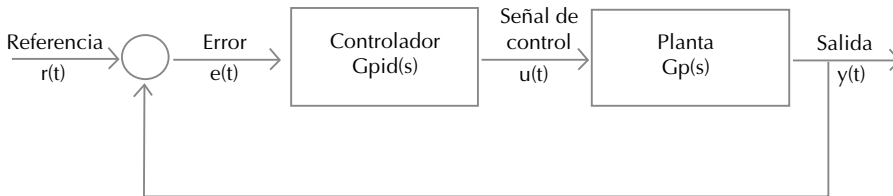
integral y ganancia derivativa (I. A. Ruge y M. A. Alvis, 2009).

El primer término, ganancia proporcional (KP), tendrá el efecto de reducir el tiempo de elevación. Una ganancia integral KI tendrá el efecto de eliminar el error en estado estacionario, pero puede empeorar la respuesta transitoria. Una ganancia derivativa KD tiene el efecto de incrementar la estabilidad al sistema, reducir el sobrepico y mejorar la respuesta transitoria.

En la ecuación 1 se aprecia la expresión matemática que modela un controlador PID en el dominio de Laplace (K. Ogata, 1993). En la Figura 1 se observa el diagrama de bloques de un control PID a una planta. Como entrada al sistema se tiene la referencia $r(t)$ y como salida del sistema se tiene $y(t)$; el controlador en este caso se denomina $G_{pid}(s)$ y el sistema o planta que se desea controlar se encuentra como $G_p(s)$ (J. Camilo y M. Alejandra, 2013).

$$G_{pid}(s) = (U(s))/(E(s)) = K_p + K_i/s + K_d s \quad (1)$$

Figura 1. Diagrama de bloques para un control PID

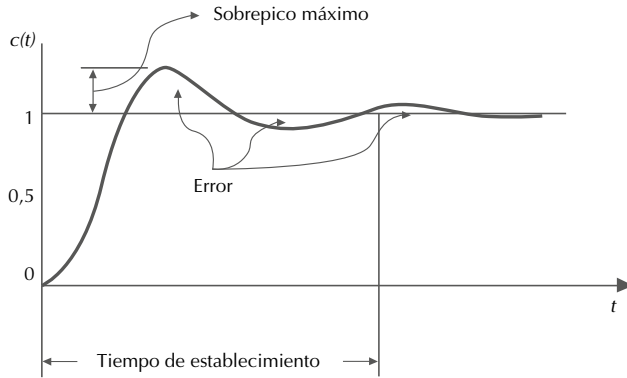


Fuente: J. Camilo y M. Alejandra, 2013.

Los métodos de sintonización en su mayoría están fundamentados en estudios experimentales de la respuesta a una entrada escalón unitario (*step*), razón por la cual los parámetros del controlador obtenidos por esta metodología arrojan respuestas medianamente estables; dichos parámetros se utilizan como un punto de partida para hacer una sintonización mucho más fina y así obtener una respuesta deseada.

Se establecen condiciones de diseño para obtener los valores de ganancias. Las condiciones de diseño más comunes son: error de estado estacionario, sobrepico máximo y tiempo de establecimiento, que es el tiempo necesario para que la respuesta alcance y permanezca dentro de un porcentaje (generalmente del 2 o 5) del error alrededor del valor final. En la Figura 2 se aprecian estas condiciones de diseño (K. Ogata, 1993), (DiStefano, 1992).

Figura 2. Condiciones de diseño en controlador PID



Fuente: autor.

1.2 Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos fueron introducidos por John H. Holland (John Holland, 1992) a principios de los sesenta y son, por mucho, la técnica evolutiva más popular en la actualidad.

Los algoritmos genéticos resultan ser un tipo de algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo usando operaciones modeladas de acuerdo con el principio darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas entre las que destaca la recombinación sexual (John Koza, 1992; G. Toscano, 2001).

La idea fundamental de los algoritmos genéticos consiste en encontrar

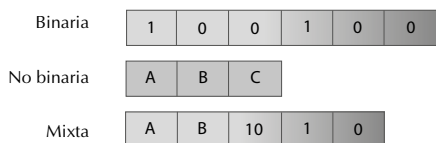
una solución aceptable a un problema por medio del mejoramiento de un conjunto de individuos cuya función de evaluación corresponde a una solución del problema. Esta optimización se realiza mediante procesos selectivos y de intercambio de información genética (John Holland, 1992).

Para poder aplicar el algoritmo genético se requieren los siguientes componentes básicos:

- Una representación o codificación de las soluciones potenciales del problema. Existen tres tipos de codificación: binaria, no binaria y mixta, como se observa en la Figura 3. Es necesario mencionar que la codificación binaria es una de las más comúnmente utilizadas; cuando no es la adecuada, se debe a que la codificación del problema se define mejor con otro tipo

de código, en algunos casos la codificación por números (Ma-neiro, 2002). El tipo de codifica-ción por implementar depende de la naturaleza del problema que se va a solucionar.

Figura 3. Tipos de codificación



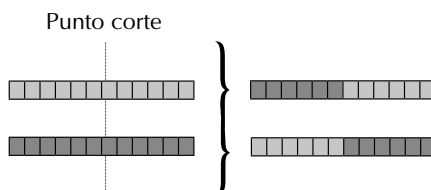
Fuente: Muñoz (2005).

- Una forma de crear una población inicial de posibles soluciones, normalmente un proceso aleatorio.
- Una función de evaluación (*fitness*) que juegue el papel del ambiente, clasificando las soluciones en términos de su aptitud; esta función puede determinar qué tan buenos o malos serán los resultados y la convergencia o no del método.
- Un mecanismo de selección que permita elegir a los individuos de acuerdo con su aptitud. En los algoritmos genéticos se puede llevar el proceso de selección de diversas maneras, ya sea determinística o probabilísticamente. Las técnicas de selección pueden ser proporcional (John Holland, 1992), mediante torneo (A. Wetzel, 1983) o de estado uniforme (Darrel Whitley, 1989).

- Operadores genéticos como cruza, mutación y elitismo, que alteren la composición de los hijos que se producirán para las siguientes generaciones (Gunter Rudolph, 1994).

Existen tres tipos principales de cruza. De un punto: se selecciona un punto de manera aleatoria dentro del cromosoma de cada padre y a partir de este se intercambian los materiales genéticos para dar origen a nuevos individuos, como se aprecia en la Figura 4 (John Holland, 1992); de dos puntos: igual a la anterior, excepto que se generan dos puntos de cruza por cada padre (A. de Jong, 1975); uniforme: cruza de n puntos (Lawrence Davis, 1991).

Figura 4. Cruce



Fuente: Muñoz (2005).

El operador de mutación consiste en alterar las características genéticas de un individuo, con el objeto de aumentar la probabilidad de exploración del espacio de búsqueda y disminuir el riesgo de estancamiento del algoritmo en óptimos locales.

1.2.1 Optimización multiobjetivo

El problema de encontrar un vector de variables de decisión es que satisfagan las restricciones y optimice una función vectorial cuyos elementos representen las funciones objetivo. Estas funciones forman una descripción matemática de criterios de desempeño que están usualmente en conflicto entre sí. Por lo tanto, el término optimizar significa encontrar aquella solución que daría un valor aceptable al diseñador en todas las funciones objetivo (A. Osyczka, 1984).

La optimización multiobjetivo maneja los siguientes conceptos:

- **Variables de decisión**, que resultan ser un conjunto de n parámetros cuyos valores dan una solución que puede o no ser válida a un problema de optimización (G. Toscano, 2001).
- **Restricciones**, generalmente en todos los problemas de ingeniería; estas delimitan el problema y validan las soluciones. Por lo tanto, se puede decir que las restricciones dibujan el contorno de la región donde se encuentra el conjunto factible del problema. Las restricciones son funciones de las variables de decisión y pueden ser tanto de igualdad como de desigualdad (G. Toscano, 2001).
- **Funciones objetivo**, las que forman el criterio de evaluación para saber qué tan buena es una solución; al igual que las restricciones, son funciones de las variables de decisión. En la optimización multiobjetivo existen dos o más funciones objetivos ($f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$) en cada problema (G. Toscano, 2001).
- **Problema de optimización objetivo** en estos problemas el objetivo de la optimización es encontrar un vector de decisión o individuo que minimice los resultados evaluados por las funciones objetivos y además cumpla con las restricciones de igualdad o desigualdad impuestas; a esto se le conoce como un conjunto factible en la población (G. Toscano, 2001).
- **Dominancia de Pareto**, para dos vectores de decisión $(x^*), (y^*) \in X$ (G. Toscano, 2001).

$$\begin{matrix} \overline{x^*} < \overline{y^*} \\ \overline{x^*} \text{ domina a } \overline{y^*} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{Si } f_i(\overline{x^*}) < f_i(\overline{y^*}) \\ \text{para toda } i = 1, \dots, k \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \overline{x^*} \leq \overline{y^*} \\ \overline{x^*} \text{ domina débilmente a } \overline{y^*} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{Si } f_i(\overline{x^*}) \leq f_i(\overline{y^*}) \\ \text{para toda } i = 1, \dots, k \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \overline{x^*} \sim \overline{y^*} \\ \overline{x^*} \text{ es indiferente a } \overline{y^*} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{Si } f_i(\overline{x^*}) \sim f_i(\overline{y^*}) \\ \text{para toda } i = 1, \dots, k \end{matrix}$$

Es importante notar que aunque la dominancia se da en el espacio de las variables de decisión, la comparación se da en el resultado de la evaluación de las funciones objetivo, es decir, en el espacio de las funciones objetivo.

- **Óptimo de Pareto.** Podemos decir que un vector de decisión (x^*) que es miembro del conjunto factible es óptimo de Pareto si y solo si no existe otro vector de decisión (y^*) que pertenezca al conjunto factible y que lo domine (G. Toscano, 2001).

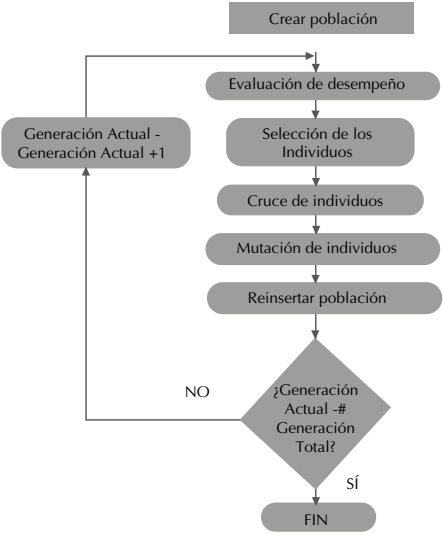
1.2.2 Estructura general de los AG

Se comienza con una población inicial de soluciones aleatorias (población). Cada individuo en la población es llamado cromosoma, el cual representa una solución al problema. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones sucesivas, llamadas también generación; durante cada generación los nuevos cromosomas son evaluados, usando la medida de aptitud. Luego, mediante los operadores de cruce y mutación, se seleccionan los cromosomas con mayor probabilidad de supervivencia, a fin de realizar la exploración y la explotación de las funciones objetivo. Por último, se reinsertan a la población actual; después de terminar el número de generaciones se selecciona al individuo con mayor desempeño, el cual representa

la solución óptima (I. A. Ruge y M. A. Alvis, 2009).

En la Figura 5 se observa el diagrama básico de un algoritmo genético.

Figura 5. Diagrama de flujo de algoritmo genético simple



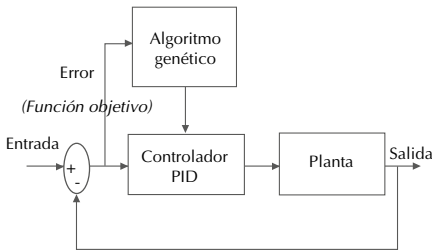
Fuente: autor.

2.3 Aplicación de algoritmos genéticos en controladores PID

En su mayoría, los algoritmos evolutivos han sido empleados para ajustar los parámetros de controladores PID, con el propósito de mejorar el rendimiento de controladores y así obtener un diseño multidisciplinar que involucre tanto al diseño de control como al diseño mecánico y al electrónico. A continuación se muestra, en la

Figura 6, el diagrama de bloques que se tiene para aplicar los algoritmos genéticos al controlador PID.

Figura 6. Algoritmos genéticos aplicados a controladores PID



Fuente: I. A. Ruge y M. A. Alvis, 2009.

2. Metodología e implementación

El algoritmo que se aplicó fue desarrollado e implementado en Matlab 2013 utilizado en un computador portátil Lenovo Z460 con procesador Intel® core™ i5 M460 a 2,53 GHz con 8 GB de memoria RAM, Windows 8, 64 bits. Se desarrolló una herramienta en Matlab en donde se tomaron como funciones objetivos el error, el sobrepico máximo y como restricción el tiempo de establecimiento, de manera que el problema de optimización multiobjetivo resuelto se define así:

$$f1(Kp, Ki, Kd) = \int_0^T [e(t)]^2 = \text{Error}$$

$$f2(Kp, Ki, Kd) = \text{Sobrepico Máximo}$$

$$R(Kp, Ki, Kd) = \text{Tiempo de establecimiento}$$

Luego del proceso de optimización, al evaluar cada función objetivo en cada iteración la herramienta selecciona y reordena los valores óptimos de las constantes KP, KI y KD para todas las soluciones obtenidas en cada aumento de generación, de modo que al terminar el número máximo de generaciones tendremos los mejores resultados de las constantes a lo largo de todas las generaciones evaluadas.

Los algoritmos 1 y 2 muestran el pseudocódigo del proceso de optimización multiobjetivo y de la obtención de los valores provenientes de las funciones objetivo, respectivamente.

Algoritmo 1. Pseudocódigo general

1. Número de individuos en la población (tamaño de la población).
2. Número máximo de iteraciones (número de generaciones).
3. Establecer dimensiones del espacio de búsqueda.
4. Inicializar función de transferencia (numerador y denominador).
5. Definir función para obtener el valor de las funciones objetivo (algoritmo 2).
6. Aplicar algoritmo de optimización usando algoritmos genéticos y optimización multiobjetivo con base en frentes de Pareto (script en Matlab).

7. Obtener los mejores resultados.

Algoritmo 2. Pseudocódigo para obtener funciones objetivo

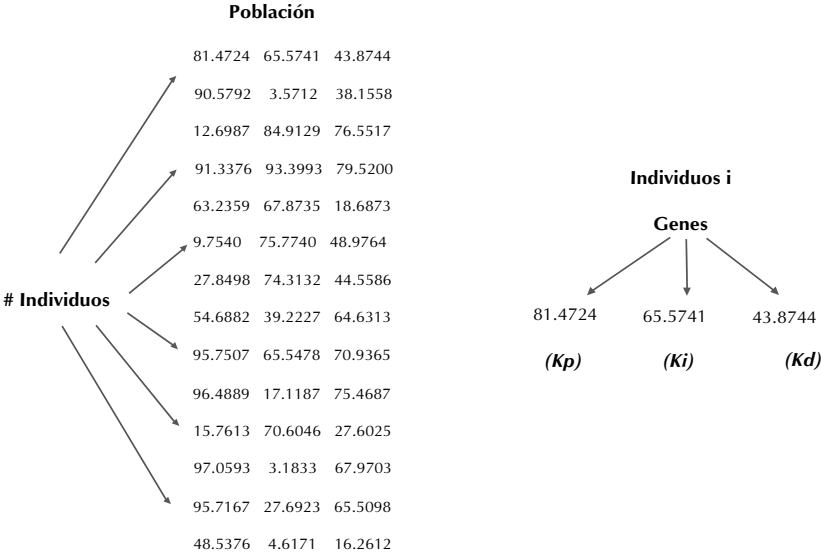
1. Obtener los parámetros de la función de transferencia.
2. Obtener las ganancias para evaluar (KP, KI y KD).
3. Definir la función de transferencia resultante de multiplicar el controlador PID (ecuación 1) y la función de transferencia de la planta.
4. Hacer el lazo de retroalimentación (*feedback*).
5. Obtener la respuesta al paso (*step*) de la función de transferencia resultante del *feedback*.

6. Obtener los valores de error, sobrepico máximo y tiempo de establecimiento con la respuesta al paso unitario.

7. Ordenar del óptimo al menos bueno los valores obtenidos por la evaluación.

La población inicial opera con una codificación de tipo numérico real, dando como ventaja la omisión de procesos de codificación y decodificación, que son tenidos en cuenta para pasar a los individuos de la población al espacio de evaluación definido por la función objetivo, trabajando así con los coeficientes de las constantes en forma directa. En la Figura 7 se muestra el formato de la población inicial.

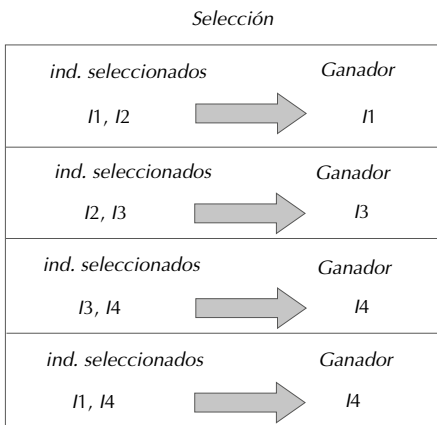
Figura 7. Población inicial



Fuente: autor.

En este algoritmo se usó selección por torneo, utilizando dominancia como método de comparación; la idea básica de este tipo de selección consiste en elegir con base en comparaciones directas de los individuos de la población. Se escoge un número de individuos para someterlos a competición –generalmente compiten de a dos individuos–, después comparamos con base en su aptitud, de modo que el ganador es el individuo más apto de la competencia; así se garantiza que el mejor individuo será seleccionado un mayor número de veces P que el resto de individuos. En la Figura 8 Se observa el proceso de selección utilizado en la herramienta.

Figura 8. Selección

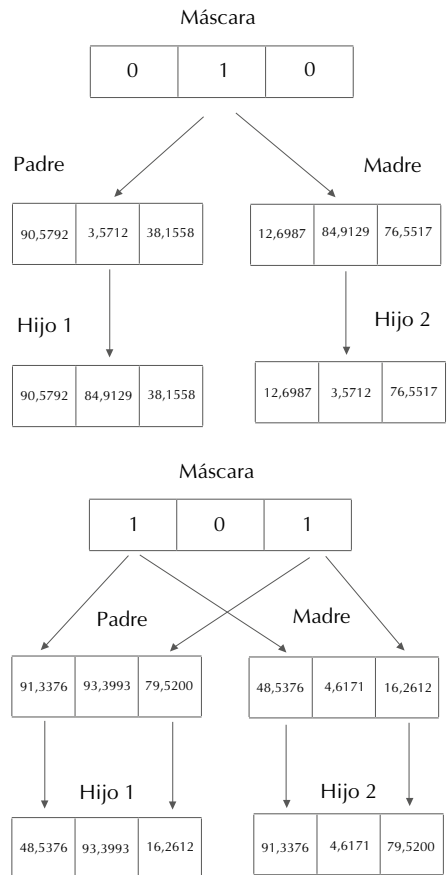


Fuente: autor.

El operador de cruce trabaja sobre dos individuos, denominados individuos progenitores o padres. Este operador produce generalmente otros dos individuos, que serán nuevos puntos en el espacio de

búsqueda del algoritmo. El operador de cruce implementado en el algoritmo es un cruce de tipo uniforme, y se basa en el uso de una máscara llamada de cruce; la obtención de esta es de forma aleatoria, dando la misma probabilidad a que en cada una de las posiciones de la máscara haya un 1 o un 0. En la Figura 9 se observan los dos tipos de cruce –de un punto (izquierda) y en dos puntos (derecha)–.

Figura 9. Cruce uniforme

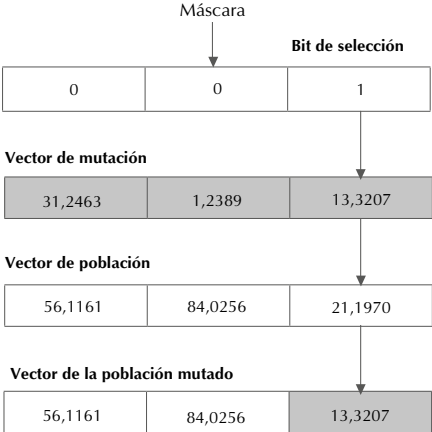


Fuente: autor.

Además, se usó una mutación de tipo uniforme, la cual nos garantiza un porcentaje de mutación constante a lo largo de todo el proceso evolutivo; en la mutación se habla de un progenitor y un descendiente, además de una máscara aleatoria de tipo binario, encargada de seleccionar cuál será el bit del gen correspondiente por mutar. De este modo, el operador de mutación ayuda a renovar la población, y lo hace de forma arbitraria, pues el resultado de la descendencia nada tiene que ver con su progenitor. En la Figura 10 se muestra el proceso de mutación implementado.

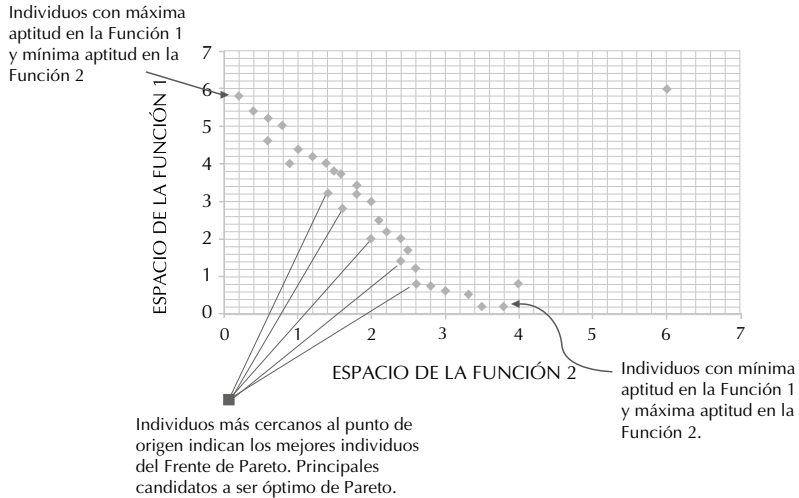
Después de haber hecho mutación, se busca obtener un conjunto de individuos aptos para la solución del problema; de este modo la población se somete a un proceso de optimización multiobjetivo basado en frentes de Pareto. El proceso de optimización multiobjetivo se enfoca en la búsqueda de individuos que satisfagan las restricciones impuestas y al mismo tiempo sobresalgan en la evaluación de las funciones objetivo. Estos criterios de desempeño por lo general están en conflicto entre sí. En la Figura 11 se muestra una gráfica de cómo se encuentran distribuidos los individuos en el frente de Pareto.

Figura 10. Mutación



Fuente: autor.

Figura 11. Frente de Pareto



Fuente: autor.

La herramienta cuenta con una interfaz GUIDE (editor de interfaces de usuario GUI) para interactuar con el usuario, cambiar los parámetros de operación del

algoritmo y mostrar los resultados obtenidos por la herramienta desarrollada. La interfaz tiene los siguientes elementos, que se observan en la Figura 12:

Figura 12. PIDag



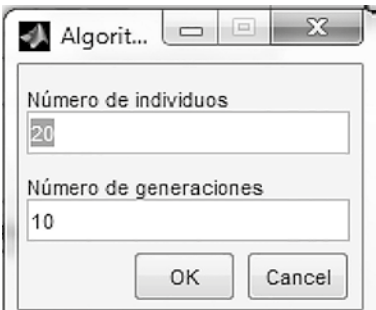
Fuente: autor.

La herramienta posee botones. Uno es utilizado para iniciar la sintonización de la planta; dos despliegan información de los diseñadores de la herramienta de sintonización; otro es usado para ingresar al menú de parámetros de la herramienta en donde se modifican parámetros de operación del algoritmo. Existe un botón de ayuda para orientar al usuario sobre cómo emplear correctamente la herramienta.

Existen dos cuadros de texto editables en donde se ingresan los coeficientes del modelo de la planta en función de Laplace, el numerador y denominador, respectivamente. En el botón parámetros se despliegan tres submenús, que se explican a continuación:

En el de algoritmo genético se despliega una ventana donde se pueden modificar el número de individuos que evaluará el algoritmo durante el proceso y el número de generaciones en donde se especifica el número de generaciones que el algoritmo se ejecutará. Este submenú se aprecia en la Figura 13.

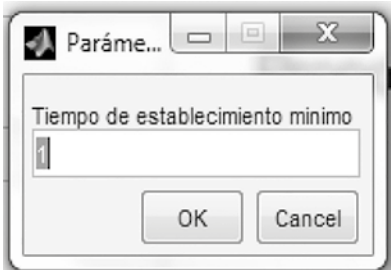
Figura 13. Algoritmo genético



Fuente: autor.

En el submenú parámetros de salida se despliega una ventana donde se define el tiempo de establecimiento mínimo con el cual el algoritmo va a restringir los individuos de la población; es el tiempo mínimo en el cual se desea que la planta se estabilice. Este submenú se aprecia en la Figura 14.

Figura 14. Parámetros de salida



Fuente: autor.

Figura 15. Límites de constantes



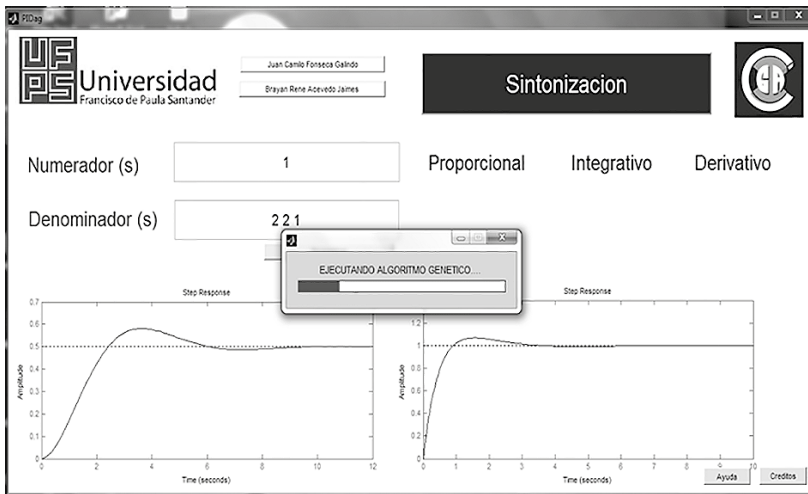
Fuente: autor.

En el momento de ejecutar la herramienta se deben ajustar los parámetros de búsqueda del AG, entre los cuales están los límites superiores e inferiores de cada una de las constantes. Estos límites garantizan que las constantes del PID obtenido no estén por fuera del rango establecido. Los rangos de operación pueden ser modificados a conveniencia, con el fin de garantizar una mejor exploración del espacio de búsqueda o delimitar los espacios de trabajos en donde

se requiera que las constantes (Kp, Ki, Kd) puedan operar.

Al ejecutarse la sintonización se aprecia una barra que indica el avance del algoritmo genético. Al terminarse la ejecución de la simulación se muestran las respectivas constantes, la gráfica de la respuesta de la planta en lazo abierto y la planta sintonizada con su respectivo controlador, como se observa en la siguiente figura.

Figura 16. PIDag en ejecución



Fuente: autor.

3. Simulación y resultados

Para todas las pruebas desarrolladas se utilizó una población de 30 individuos y 20 iteraciones, que corresponden en cada caso a 600 evaluaciones de cada una de las funciones objetivo. Para el algoritmo de

optimización, la población inicial generada es de tipo aleatorio y se operó con un espacio de búsqueda de $0 \leq KP \leq 50$, $0 \leq KI \leq 20$ y $0 \leq KD \leq 20$.

Se realizaron pruebas de la herramienta con plantas extraídas del libro de K. Ogata *Ingeniería de*

control moderna. En cada una de ellas se obtuvieron las gráficas de la planta en lazo cerrado sin controlador, y gráficas de la planta en

lazo cerrado con el controlador obtenido de la herramienta PIDag, y se compararon resultados con la herramienta Sisotool de Matlab.

3.1 Función de prueba 1

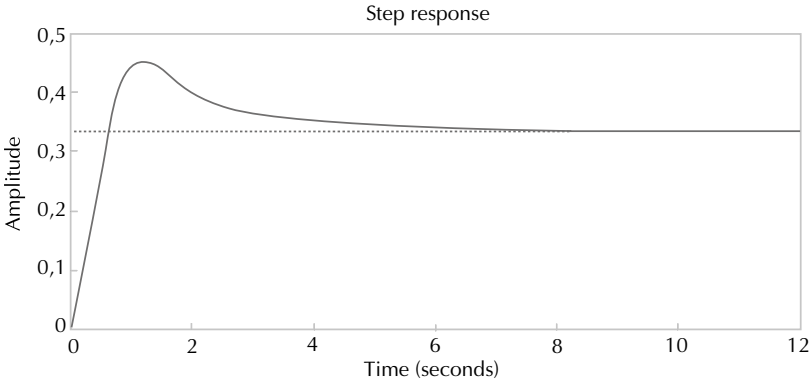
$$\frac{5s + 2}{s^3 + 5s^2 + 8s + 4}$$

Proporcional	Integrativo	Derivativo
37,6692	18,9251	13,0447

Tabla 1. Resultados para la función de prueba

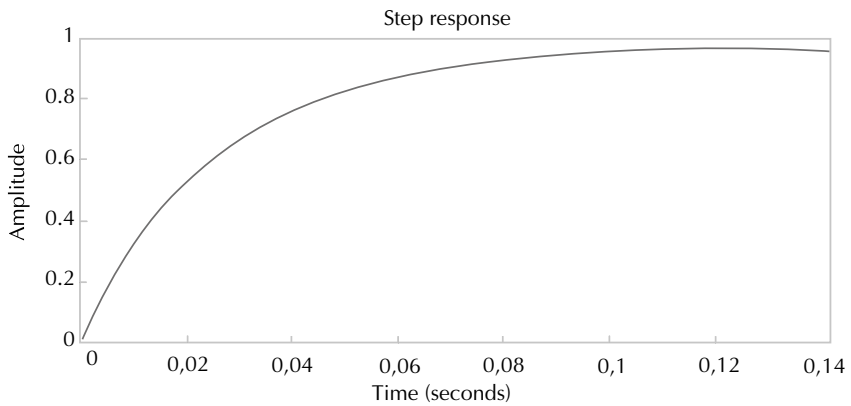
	Sobrepico máximo	Tiempo establecimiento	Error
Planta	0,4506	5,7288	0,67
Algoritmo G	0,9995	1,14	2,33e-7
Sisotool	1,22	2,5	0,05

Figura 17. Respuesta de la planta 1 sin controlador ante un escalón unitario



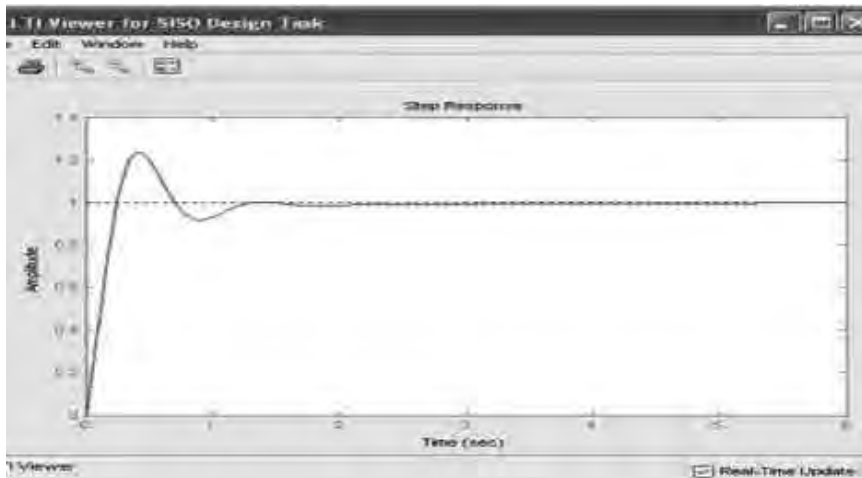
Fuente: autor.

Figura 18. Respuesta de la planta 1 con controlador sintonizado por PIDag ante un escalón unitario



Fuente: autor.

Figura 19. Respuesta de la planta 1 con controlador sintonizado por Sisotool ante un escalón unitario



Fuente: autor.

Desarrollo de una herramienta en Matlab para sintonización de controladores PID, utilizando algoritmos genéticos basado en técnicas de optimización multiobjetivo, B. Acevedo, J. Fonseca, J. Gómez

3.2 Función de prueba 2

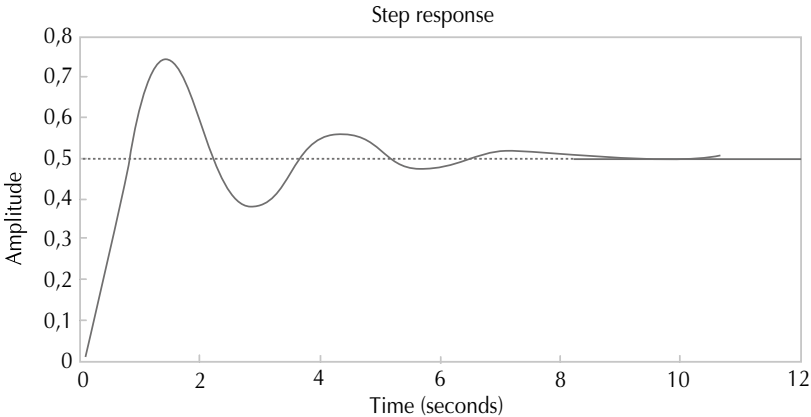
$$\frac{10}{s^2 + 2s + 10}$$

Proporcional	Integrativo	Derivativo
8,4047	17,1467	12,0918

Tabla 2. Resultados para la función de prueba

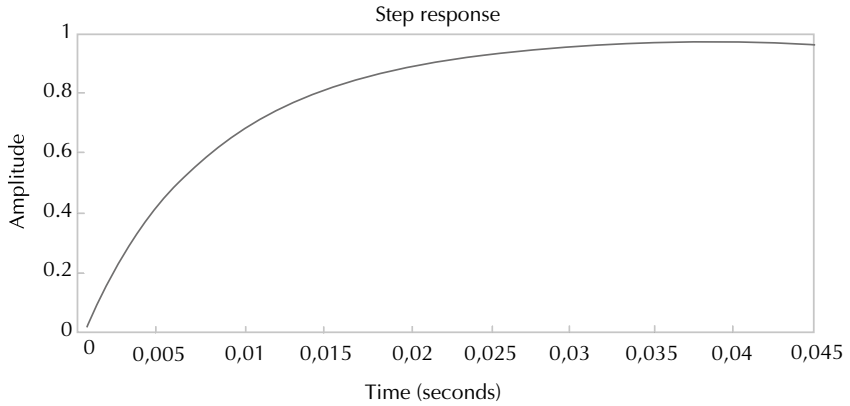
	Sobrepico máximo	Tiempo establecimiento	Error
Planta	0,7421	3,7795	0,5
Algoritmo G	1,0137	1,9484	3,013e-7
Sisotool	1,22	2,5	0,05

Figura 20. Respuesta de la planta 2 sin controlador ante un escalón unitario



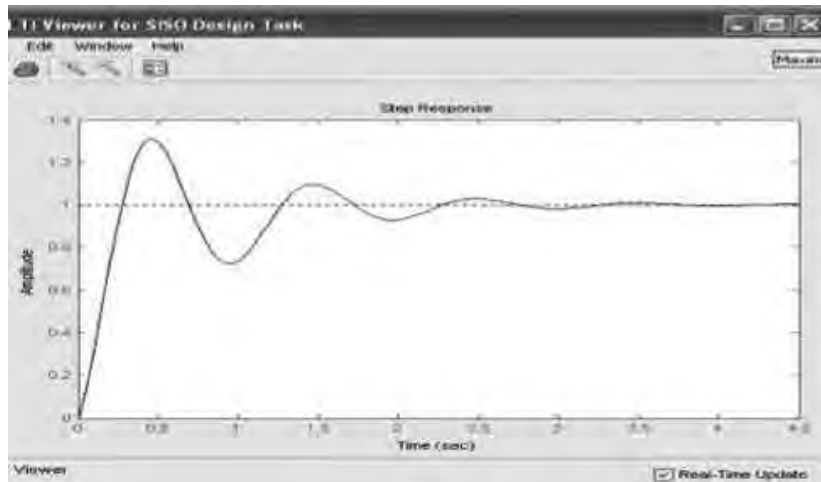
Fuente: autor.

Figura 21. Respuesta de la planta 2 con controlador sintonizado por PIDag ante un escalón unitario



Fuente: autor.

Figura 22. Respuesta de la planta 2 con controlador sintonizado por Sisotool ante un escalón unitario



Fuente: autor.

4. Conclusiones

Se analizó la sintonización de los controladores correspondientes a cada una de las plantas simuladas tomando como criterios de evaluación el error, el sobrepico máximo y tiempo de establecimiento obtenidos en la señal de salida como resultados de la aplicación de un escalón unitario (*step*) a la entrada de cada una de las plantas, cuando se utiliza la herramienta PIDag, con el fin de minimizar la magnitud del error, reducir el sobrepico máximo y obtener tiempos de establecimientos más cortos. Las tablas comparativas y las gráficas de las señales tomadas a la salida de la planta mostraron que la herramienta PIDag, en comparación con el Sisotool de Matlab, obtiene mejores resultados en los tres criterios de evaluación tomados para la sintonización de controladores PID.

Se demostró que la aplicación de un método que se sustenta en principios de selección natural para la optimización de los valores de ganancia de un controlador PID permite dar a conocer una nueva forma de solución no convencional a problemas de control, además de encontrar una variedad de valores óptimos para estos parámetros, dan-

do como opción al programador de elegir el que más se acomode a sus requerimientos de diseño.

Se evidenció que la eficacia de la implementación de algoritmos genéticos aplicados a la sintonización de controladores PID radica en la capacidad de exploración activa que tenga el algoritmo, la manera en que se eligen los individuos de la población, tener una cuidadosa selección de los individuos por recombinar y mutar, además de una buena interpretación de las funciones objetivos.

Al desarrollar una herramienta de sintonización de controladores PID usando algoritmos genéticos en donde se toma más de un criterio de evaluación es imperativo y necesario implementar un proceso de optimización multiobjetivo fundamentado en frentes de Pareto, en donde se demuestra que la asignación de restricciones y funciones objetivo permite garantizar una mejor exploración del espacio de búsqueda y escoger individuos óptimos, que satisfagan las restricciones impuestas y al mismo tiempo sobresalgan en la evaluación de las funciones objetivo en un espacio de búsqueda global sin que el algoritmo converja a un óptimo local.

REFERENCIAS

- Castro P. J. Camilo and Guzmán P., M. Alejandra (2013). Optimización multiobjetivo de un controlador PID. *Aplicando Algoritmos Bioinspirados, CIIMA*, 2 (20), 191-197.
- De Jong. A. K. (1975). *An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems*. PhD thesis. Michigan: University of Michigan.
- Deb, K. et al., (2002). A fast an elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA II. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, vol. 6(2).
- DiStefano, Stubberud and Williams (1992). *Retroalimentación y sistemas de control*. Segunda Edición (Trad. R. Gómez Cruz) Bogotá: Ed. McGraw-Hill.
- Gunter, Rudolph (1994). Convergence analysis of canonical genetic algorithms. *January IEEE Transactions on Neural Networks* 5(1), 96-101.
- Holland, John H. (1992). *Adaptation in natural artificial system*. Second edition. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Koza, John R. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Lawrence, Davis. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Maneiro Malavé, Ninoska (febrero 2002). *Algoritmos genéticos aplicados al problema cuadrático de asignación de facilidades*. Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Muñoz M., A. F. (2003). *Tecnologías de control inteligente: Redes neuronales, algoritmos genéticos y de clonación artificial*. ISSN 1692-72577, vol. 1, No. 1, 4-9.
- Muñoz M., A. F. Wseas, M. (July 2005) Advance control of applied artificial cloning paper Wseas, transactions on systems. *Advance Artificial Cloning Applied to Industrial Process Control* vol. 4 Issue 7, 930-938, Atenas, Grecia.
- Ogata, K. (1993). *Ingeniería de control moderna*. Segunda edición. (Trad. B. A. Fabian-Kernel). México: Ed. Prentice-Hall.
- Osyczka, A. (1984). *Multicriterion Optimization in Engineering with Fortran programs*. Ellis Horwood Limited.
- Pinto F., M. Claudia (mayo 2006). *Sintonización de controladores PID utilizando algoritmos evolutivos*. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Pamplona, Colombia.

Ruge, I. A. and Alvis, M. A. (2009). Aplicación de los algoritmos genéticos para el diseño de un controlador PID adaptativo. *Tecnura*, vol. 13(23), 82-90.

Syswerda, Gilbert (1989). Uniform Crossover in Genetic Algorithms. In J. David Schaffer (ed.) *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann, 2-9.

Toscano, P. G. (septiembre 2001). *Optimización multiobjetivo usando un microalgoritmo genético*. Universidad Veracruzana-Lania.

Van Rensburg, P. J., Shaw, L. S. y Van Wyk J. D. (April 1998). *Adaptive PID-*

control using a Genetic Algorithm. 1998 *Second International Conference on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems*. Australia: Editors, L. C. Jain and R. K. Jain Adelaide, 21-23.

Wetzel. A. (1983). *Evaluation of Effectiveness of genetic algorithms in combinational optimization*. Pittsburgh (unpublished): University of Pittsburgh.

Whitley. Darrel (1989). The Genitor Algorithm and Selection Pressure: Why Rank-Based Allocation of Reproductive Trials is Best. In *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, 116-121.





Mecánica

Diseño y construcción de una herramienta manual para corte de tallos maderosos en la industria floricultora de la sabana de Bogotá¹

*Design and development of a woody stems cutting hand tool for the floriculture industry of Bogotá's savannah**

Galmher Arnold Castillo Díaz, instructor producción multimedia
gcastillod@sena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA.
Centro Industrial y de Desarrollo Empresarial - Soacha
Regional Cundinamarca

FECHA DE RECEPCIÓN: 14 DE MARZO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 11 DE ABRIL DE 2014

-
- 1 Diseño y construcción de una herramienta manual para corte de tallos maderosos en la industria floricultora de la sabana de Bogotá. Fecha de inicio: mayo de 2008. Fecha de terminación: aún está en desarrollo, en etapa de elaboración de modelos funcionales. Financió y ejecutó hasta febrero 2008, hasta la etapa de recolección de información, la Pontificia Universidad Javeriana.
 - * Design and Development of a woody stems cutting hand tool for the floriculture industry of Bogotá's savannah. Start date: May 2008. End date: Still in development. On functional modeling building stage. On finance and building up to February 2008: data compilation stage, from the Pontificia Universidad Javeriana.

RESUMEN

La presente investigación es multidisciplinaria y tiene por objeto el diseño de un prototipo funcional de una herramienta manual para corte de tallos maderosos en la industria floricultora. Este proyecto se basa en una necesidad real sentida ya que de acuerdo con estudios realizados, el síndrome del túnel carpiano (STC), trastorno musculoesquelético (TME) de mayor incidencia en la población laboral floricultora y a su vez la mayor causa de consulta por enfermedad profesional (EP) en Colombia, está relacionado con el uso de este tipo de herramientas del sector floricultor, sector que encabeza la lista de reportes de EP del régimen contributivo SGSSS del año 2004, con el 9% del total de los casos diagnosticados.

Por otra parte, se ha establecido que el STC se presenta a cualquier edad, tanto en hombres como en mujeres, en inadecuadas condiciones de higiene laboral, desempeñando tareas repetitivas y con uso excesivo de la articulación carpiana, cuya compleja estructura es muy propensa a lesiones. Este proyecto busca identificar tales fallas ergonómicas de las herramientas usadas actualmente y desarrollar una que las corrija, utilizando la metodología de diseño desde la concepción teórica del modelo de funcionamiento hasta la construcción final del modelo y el prototipo funcional. Actualmente, el proyecto se encuentra en etapa de construcción del modelo funcional.

Palabras clave: ergonomía, diseño herramientas, prototipado, usabilidad, cultivo flores.

ABSTRACT

There is a well-known fact, that in many small-towns in the sabana de Bogotá, young crops workers are getting total permanent incapacity in their hands, due to the job they are almost obliged to perform around their towns: Cutting flowers stems with unsuitable gardener's scissors, causing a critical raise in the Carpal tunnel syndrome (CTS) incidence in this working population. On the other hand,

this fact concerns not only to the social services companies, but also to the labour ministry, especially for the many compensations to pay monthly to an increasing number of affected workers, that sues the public office, causing an important detriment in the treasury, which finally affects all Colombians, nevertheless, there is yet a big amount of sub-registered cases.

However, with this new design the incidence or CTS will be substantially reduced and therefore, the winning of these companies will be dramatically rocketed on the other hand.

The design of a tool, like gardener's scissors, lies in specifying and explaining in detail, its components and pieces, as well as the correlation among them. There are three main stages when considering a gardener's scissors design: function, production, commercialization, the user/consumer, making sure the scissors turn out to be efficient in each one of this features.

Keywords: Ergonomics, Tool Design, Prototyping, Usability, Handtools Design.

1. Descripción del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

En la encuesta realizada por la Corporación Cactus², las dolencias asociadas a trabajo repetitivo y a la adopción de posturas incorrectas durante el corte de flores, exceso de trabajo y condiciones ambientales de los cultivos ocu-

pan el segundo, tercer y cuarto lugar de dolencias percibidas por los trabajadores, como son dolor de espalda, dolor en las manos y calambres en las piernas, respectivamente. La encuesta fue realizada entre diciembre de 2003 y enero de 2004³ a 851 personas (296 hombres (34,8%) y 555 mujeres (65,2%)) que trabajan en cultivos de flores del occidente y norte de la sabana.

1.1.1 Dolencias percibidas

Cuadro 1. Dolencias percibidas en el sector floricultor

Dolencia	Hombres N = 296		Mujeres N = 555		Total n = 851	
	F	%	F	%	F	%
Dolor de cabeza	82	27,70	308	55,50	390	45,83
Dolor de espalda	81	27,36	245	44,14	326	38,31
Dolor en las manos	58	19,59	195	35,14	253	29,73
Calambre en piernas	36	12,16	125	22,52	161	18,92
Ardor de ojos	61	20,61	99	17,84	160	18,80
Alergia en las manos	28	9,46	85	15,32	113	13,28
Gastritis	22	7,43	61	10,99	83	9,75
Alergia en la piel	11	3,72	36	6,49	47	5,52

Fuente. Zamudio, R. (2004). Ponencia "Mujer y contexto de género", en el municipio de Tenjo.

Las lesiones de extremidad superior derivadas de microtraumatismos repetitivos son un problema frecuente que ha sido estudiado de

forma exhaustiva en la industria⁴. En dichos estudios se han encontrado ciertos factores de riesgo, citados a continuación:

2 Corporación Cactus (2005). La floricultura y los derechos humanos.

3 Zamudio, R. (2004).

4 Solé Gómez, M^a D. NTP 311: Microtraumatismos repetitivos: estudio y prevención. Especialista en Medicina del Trabajo. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.

- Mantenimiento de posturas forzadas de muñeca o de hombros.
- Aplicación de una fuerza manual excesiva.
- Ciclos de trabajo muy repetitivos, que dan lugar a movimientos rápidos de pequeños grupos musculares o tendinosos.
- Tiempos de descanso insuficientes.

De hecho, existe consenso entre muchos autores al considerar que

la patología de miembro superior se produce con mayor frecuencia en combinación de varios de los mencionados factores, especialmente de la asociación de un movimiento repetitivo en presencia de tensión muscular, poniéndose de manifiesto asociaciones con un gradiente biológico positivo; es decir, a mayor repetitividad y esfuerzo, mayor prevalencia de lesiones. En el Cuadro 2 se han recogido los ejemplos de tres lesiones derivadas de microtraumatismos repetitivos y de los factores y tareas/oficios asociados.

Cuadro 2. Principales lesiones por microtraumatismos repetitivos, factores de riesgo y actividades asociadas a estos

Alteración	Factores de riesgo	Tareas/oficios
Síndrome del túnel carpiano	Flexión o extensión de las muñecas. Torsión repetida de la muñeca. Desviación radial o cubital. Esfuerzos repetidos de la muñeca en posturas forzadas. Maniobras de presión con la palma o con los dedos.	Pulir, afilar, abrillantar, lijar, tareas de montaje, teclear, remachar, empaquetar, lavar a mano, martillear, enladrillar, fregar. Cajeros, carpinteros, cocineros, matarifes.
Tendinitis	Esfuerzos repetidos con la muñeca en extensión-flexión o en desviación cubital.	Trabajo en prensas, de montaje, uso de alicates, tendido de cables, empaquetar.
Tenos/Nóvitis	Trabajos manuales. Empujar con la muñeca en extensión y desviación radial o en supinación. Maniobras de presión con la palma de la mano, estando la muñeca en flexión o extensión. Torsión rápida.	Pulir, afilar, abrillantar, trabajo en prensas, coser, cortar, uso de alicates, atornillar, escurrir, retorcer. Matarifes.

Fuente. Zamudio, R. (2004). Ponencia “Mujer y contexto de género”, en el municipio de Tenjo.

1.1.2 Medidas preventivas

En el mismo documento se definen específicamente seis condiciones

que se deben evitar para prevenir la aparición de lesiones osteomusculares de extremidad superior:

- Tareas repetitivas: aquellas actividades cuyo ciclo sea inferior a 30 segundos o aquellos trabajos en los que se repitan los mismos movimientos elementales durante más de un 50% de la duración del ciclo.
- Trabajos que requieran esfuerzos prolongados o repetitivos que superen el 30% de la capacidad muscular máxima del trabajador.
- Posturas extremas de determinados segmentos corporales.
- Mantenimiento prolongado de cualquier postura.
- Trabajos con herramientas que vibran.
- Exposición de ciertos segmentos corporales al frío o en contacto con superficies duras.

En el caso específico de la actividad de corte de tallos de rosa, todas las anteriores se identifican como presentes en la actividad y por consiguiente origen de las lesiones musculoesqueléticas del miembro superior que afectan a su población laboral, siendo la repetitividad, las posturas inadecuadas y la fuerza excesiva las que se tratarán positivamente para el operario con el diseño de la herramienta de corte propuesta en el presente proyecto.

1.1.3 Rediseño de las condiciones de la tarea de corte de rosa asociadas a la herramienta

Los beneficios que representa el diseño de la herramienta son:

- La disminución y estandarización del esfuerzo por realizar en el corte.
- La reducción de la frecuencia (repetitividad).
- Los cambios posturales⁵.

Para el control de los esfuerzos, las soluciones son las siguientes:

- Reducir la fuerza por emplear manteniendo óptimamente afiladas las herramientas.
- Distribuir la fuerza favoreciendo la actuación de todos los dedos a uno solo o favoreciendo el uso alternativo de las manos.
- Facilitar el uso de grupos musculares potentes e implementar mangos largos (adecuados a la medida de la mano).
- Vigilar el efecto del uso y el tipo de guantes sobre el trabajo. Evitar el desarrollo de una fuerza

5 LaDou, J. (1999). Capítulo 20. Desarrollo, tecnología y comercio. Transferencia de tecnología y elección tecnológica. En OIT, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (ed), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 20.11-20.14). Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

por encima de lo necesario por falta de sensibilidad o de ajuste de la prenda de protección.

- Facilitar el mantenimiento de las herramientas⁶.

La identificación de frecuencias de corte en cultivo por encima siete flores por minuto hace necesaria una disposición de los mecanismos de la herramienta que permita que se alternen los diferentes grupos musculares, pero también una reestructuración de los métodos de trabajo que haga más variada la tarea de los operarios e impida que estos se vean forzados a aumentar la frecuencia de corte para poder alcanzar las metas impuestas, que desde los inicios del trabajo en cultivos de flores en Colombia han sufrido un vertiginoso ascenso hasta llegar hoy a la exigencia de 500 tallos/hora.

Por todo lo descrito anteriormente, y basados en las experiencias vividas por parte de los trabajadores, el tema de estudio obedece a la siguiente incógnita: ¿es posible diseñar o rediseñar un elemento de corte que permita disminuir las lesiones de miembro superior para aquellas personas que tienen como tarea realizar el proceso de corte de rosa para el sector floricultor?

.....

6 Polidoro y Sánchez. Salud laboral y prevención de riesgos laborales. Aproximación desde una perspectiva de género. Emakunde. Eusko jaurlaritza/gobierno vasco. Con la cofinanciación del Fondo Social Europeo.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 *Enfermedades del antebrazo, muñeca y mano*

- Tenosinovitis y peritendinitis.
 - Tenosinovitis de De Quervain.
 - Tenosinovitis estenosante de los dedos.
- Artrosis.
- Síndrome compartimental.
- Trombosis de la arteria cubital (síndrome del martillo hipotenar).
- Contractura de Dupuytren
- Quistes sinoviales de muñeca y mano.

Viikari (1999) dice que "(...) se ha utilizado un diagnóstico de amplio contenido, el de 'trastornos traumáticos acumulados' (TTA)⁷, para denominar a todos los trastornos de los tejidos blandos de la extremidad superior que se cree están causados, precipitados o agravados por esfuerzos repetitivos de la mano" (p. 6.24).

Otra definición útil para este trabajo es la de Silverstein, Fine y Armstrong (1986)⁸: "La repetición

.....

7 Corporación Cactus (2005). Flores colombianas entre el amor y el odio.

8 Viikari, E.- Juntur (1999). Capítulo 6. Sistema musculoesquelético, antebrazo, muñeca y mano. En OIT, Ministerio de Trabajo

frecuente de movimientos en el trabajo y las demandas elevadas de fuerza en la mano son poderosos factores de riesgo, sobre todo cuando se dan conjuntamente” (pp. 252-269).

Posturas inadecuadas, por su ángulo elevado respecto al eje de la muñeca en el trabajo, así como las bajas temperaturas del ambiente, se asocian a factores de riesgo.

Viikari (1999) define el STC de la siguiente manera: La tenosinovitis de los tendones flexores de la cara palmar de la muñeca puede producir el atrapamiento del nervio mediano en su trayecto a través de la muñeca, dando lugar al síndrome del túnel del carpo.

La fisiopatología en la fase aguda de la enfermedad se caracteriza por la acumulación de líquido y de una sustancia llamada fibrina en la vaina del tendón en la tenosinovitis, y en el paratendón y entre las células musculares en la peritendinitis. Posteriormente se observa crecimiento celular.

1.2.2 Características de la herramienta

- La naturaleza del agarre.
- Grosor del agarre.

- Fuerza del agarre y dimensiones de la mano.
- Forma de los mangos.
- Superficie y textura del agarre.
- Importancia de los guantes.
- Importancia del género.

Naturaleza, grosor y fuerza del agarre y dimensiones de la mano

Las herramientas de corte de tallos de rosas están compuestas principalmente por dos grandes cuerpos: el mango y su cabezal, donde se encuentran localizadas las cuchillas. Como nuestra herramienta de corte debe ajustarse a las dimensiones antropométricas de un percentil específico de usuarios, necesariamente los usuarios de los percentiles 1-5 y 95-99 requerirán un tratamiento particular.

Adicionalmente, la herramienta debe permitir un cierto grado de adaptación a su usuario final. La forma y función de la herramienta deben permitir un cierto grado de libertad de la configuración. Para lograr lo anterior, la atención deberá dirigirse principalmente a la configuración formal de los mecanismos y piezas, especialmente a lo que hace las veces de interfaz entre el usuario y la herramienta: el mango.

El agarre adecuado de nuestra herramienta de corte debe ser una

.....
y Asuntos Sociales (ed), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (pp. 6.24-6.27). Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

combinación entre agarre de fuerza y agarre de precisión. Se aplicará un cálculo de esfuerzo teniendo en cuenta, por un lado, la distancia de desplazamiento para la acumulación de energía y la cantidad de fuerza invertida durante el recorrido, por el otro. La fuerza efectiva de la acción de corte será entonces el resultado de la fuerza aplicada en función de la distancia requerida por la herramienta.

Mangos

Respecto a los mangos y a otras consideraciones especiales del diseño de herramientas manuales, Fraser (1999) menciona: la orientación del mango de la herramienta, siempre que sea posible, deberá permitir que la mano y el brazo permanezcan en su posición funcional natural, es decir, con la muñeca supinada algo más de la mitad, abducida unos 15° y ligeramente flexionada en dirección dorsal, con el dedo meñique flexionado casi por completo, los demás un poco menos, y el pulgar aducido y ligeramente flexionado; una postura denominada a veces, erróneamente, la postura del apretón de manos (en un apretón de manos la muñeca no está supinada más de la mitad). La combinación de aducción y flexión dorsal de la muñeca, con la flexión variable de los dedos y del pulgar, genera un ángulo de agarre de unos 80° entre el eje largo del brazo y una línea que pasa por el punto central

del anillo creado por el pulgar y el índice, es decir, el eje transversal del puño.

Si se coloca la mano en una posición de desviación del cúbito, es decir, con la mano doblada hacia el dedo meñique como para utilizar unos alicates normales, se genera una presión en los tendones, los nervios y los vasos sanguíneos de la muñeca y puede producirse una serie de trastornos, como la tenosinovitis, el síndrome del túnel carpiano y otros similares. Inclinando el mango y manteniendo la muñeca recta (es decir, inclinando la herramienta y no la mano), puede evitarse la compresión de los nervios, los tejidos blandos y los vasos sanguíneos. Aunque este principio se ha reconocido hace mucho, aún no ha sido aceptado del todo por los fabricantes de herramientas o por la mayoría de la gente. Tiene una aplicación particular en el diseño de herramientas de acción de palanca en cruz, como los alicates, así como de los cuchillos y los martillos (pp. 26.68).

Superficie y textura del agarre

La superficie de agarre debe ser firme pero suave al tacto y con un acabado de espuma de alta densidad elástica preferiblemente para garantizar la perfecta distribución de la mayor área de la mano y así permitir la acción de grupos musculares, que, de otro modo, no estaría presente. Debe abarcar la mayor cantidad

de área posible, con el fin de asegurar distribución homogénea de la presión en zonas de mayor extensión y con un coeficiente de esfuerzo menor para grupos de músculos pequeños.

La longitud del mango estará determinada por las dimensiones críticas de la mano, obtenidas del estudio antropométrico de las manos de los trabajadores de este sector.

Importancia de los guantes

T. M. Fraser (1999) nos dice: “Los guantes de seguridad no suelen abultar mucho, pero los guantes que se utilizan en climas fríos pueden ser muy grandes, interfiriendo no sólo con la retroinformación sensorial sino también en la capacidad de sujeción y agarre” (pp. 26.67)⁹.

Importancia del género

T. M. Fraser (1999) menciona: “En general, las manos de las mujeres suelen tener unas dimensiones más reducidas, su capacidad de agarre es menor, y poseen entre un 50 y un 70% menos fuerza que los hombres, aunque naturalmente, algunas mujeres del percentil superior tienen manos más grandes y una fuerza mayor que los hombres que se encuentran en el percentil más bajo” (pp. 26.67).

Se puede deducir que la mayor parte de personas que tienen dificultades para manipular algunas herramientas manuales, que han sido diseñadas generalmente teniendo en mente un enfoque masculino, son mujeres.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Disminuir las lesiones de miembro superior derivadas del uso de herramientas manuales de corte y poda de rosa en los operarios por medio del diseño y construcción de un dispositivo de corte que disminuya el esfuerzo y la repetitividad y mejore la postura del conjunto mano-muñeca.

2.2 Objetivos específicos

- Producir una tabla de valores antropométricos actuales de las dimensiones de la mano de los trabajadores expuestos para analizar la forma de agarre.
- Determinar las dimensiones de los mangos de la herramienta, que se debe elaborar por medio de los resultados del estudio antropométrico.
- Determinar la fuerza necesaria para realizar el corte de la rosa con diferentes herramientas y diseñar un instrumento de corte

⁹ Chaffin, Andersson y Bernard (1999). *Occupational Biomechanics*. Third edition (pp. 252-269).

que disminuya el esfuerzo y homogenice la cantidad de fuerza y recorrido necesarios para el corte de tallos de rosas entre los percentiles 5 y 95.

3. Metodología propuesta

El diseño de un producto consiste en detallar y especificar los componentes o piezas y su correlación, de forma que se conviertan en un conjunto unificado que satisfaga todas las disposiciones y funciones para las que se le ha concebido.

Al considerar el diseño de los productos es preciso tener en cuenta: función, producción, comercio, usuario o consumidor, procurando que el producto resulte eficiente en cada uno de estos ámbitos, sin olvidar que para lograr el diseño de un producto de una manera efectiva se requiere entender claramente las funciones y alcances esperados para este.

En las metodologías se pueden distinguir tres etapas generales, así:

La primera está relacionada con los elementos de entrada que dan origen al producto y que pueden venir de un requerimiento o de una necesidad de su creador; la segunda, que guarda relación con los procesos de diseño industrial del producto; y la tercera, relacionada con pruebas para determinar el producto final.

- **Definición del problema o situación problemática:** consiste en la contextualización del estudio sea este un problema específico para resolver o un campo donde aún no se ha determinado con claridad el problema. En este paso lo que se pretende es determinar con claridad y precisión lo que se desea resolver: generar, transmitir o controlar movimiento o energía.
- **Análisis del problema:** la información acerca del tema problema resulta de gran importancia para conocer variables que pueden conducir a la solución: tipo de movimiento o energía requerida, espacio, características de funcionamiento y operatividad.
- **Recolección de información:** inicialmente se realiza una toma de datos antropométricos y se aplicará una encuesta de incomodidad, con el fin de determinar las principales características que debe tener el dispositivo, que cumpla con una funcionalidad específica y que disminuya el dolor en aquellas zonas donde se presenta la incomodidad. De forma simultánea, se hará una revisión bibliográfica acerca de las diferentes temáticas conducentes a la solución del problema de corte y poda de rosa, así como el análisis de soluciones similares para la misma problemática.

- **Determinación de las características de la solución:** la especificación de las funciones que debe cumplir la herramienta de corte y cómo las debe cumplir (materiales, características y requerimientos de funcionamiento).
 - **Definición del prototipo:** luego de analizar el comportamiento del modelo, se puede proceder a hacer los ajustes necesarios a los planos y procesos, con el fin de fabricar el prototipo.
 - **Expresión gráfica:** la elaboración de bocetos de la herramienta de corte debe ser representada gráficamente bajo convenciones internacionales (planos).
 - **Construcción del prototipo:** elaboración del prototipo final y práctica de pruebas finales para lograr la implementación de la herramienta.
 - **Selección de materiales:** para esta etapa se requiere tener en cuenta los aspectos funcionales y estructurales de la herramienta para determinar los materiales que cumplan con las especificaciones requeridas.
 - **Selección de los procesos:** la determinación del procedimiento de materialización de la solución (conformado, mecanizado y ensamble).
 - **Elaboración del modelo funcional:** materialización de la solución a escala a partir de los materiales o del tamaño.
 - **Pruebas del modelo y análisis del modelo:** un modelo permite analizar el comportamiento de la solución sin que sea necesaria una inversión considerable (forma, estructura, funcionamiento).
- Para la realización de este proyecto es necesario aplicar el método de muestreo aleatorio simple, con el fin de establecer un espacio muestral de 145 participantes con una confiabilidad del 92%¹⁰.
- Materiales y equipos por utilizar**
- Antropómetro:** equipo utilizado para medir las dimensiones de la mano.
- Goniómetro:** equipo para medir los ángulos correspondientes a la ejecución de la actividad.
- Dinamómetro digital:** equipo programado para medir la fuerza que ejerce el trabajador a la hora de realizar la actividad de corte y de poda.

10 T. M. Fraser (1999). Capítulo 29. Ergonomía, herramientas. En OIT, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (ed), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 26.67). Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Monitores de ritmo cardiaco, vibrómetro, sonómetro, monitor de temperatura, monitor de calidad de aire interior, fotómetro.

Videocámara digital: este equipo es utilizado para mostrar los instrumentos utilizados en la investigación y recrear el ambiente en el cual se desarrollaron las actividades.

Variables: sexo y edad.

Variables antropométricas para la población de estudio

Peso, estatura, talla de guante, ancho de mano, longitud de la mano, ancho de la muñeca, circunferencia del puño, longitud (al nivel interdigital), circunferencia de la muñeca, fuerza de agarre máxima (kg-f), primer dedo ancho interfalange, es-

pesor de la mano (metafalange 3), anchura interna y externa del agarre, profundidad de la mano (región tenar), primer dedo profundidad interfalange, circunferencia metacarpal de la mano, anchura metacarpal mínima de la mano, primer dedo circunferencia interfalange, longitud de la mano: pinza pulgar-índice, tercer dedo ancho interfalange distal y proximal, circunferencia de la mano, proximal de los dedos, máxima rotación: supinación y pronación (en grados), tercer dedo profundidad interfalange distal y proximal, tercer dedo circunferencia interfalange distal y proximal.

Para el registro de dichas variables se ha desarrollado el siguiente formulario, que permite de forma rápida registrar los datos para cada usuario:

Imagen 3. Formulario de ingreso de datos antropométricos para la población operaria de herramientas de corte del sector floricultor de la sabana de Bogotá.

TEST DE EVALUACION DE PROCESO DE CORTIR DE ROSAS

Nombre: **ana maria rodriguez**

Edad: 18-25 Sexo: f ¿Usted es Zurd(a)? SI NO

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en floricultura? 2 a 5 años

En cuanto a su herramienta de trabajo (tijeras)

¿La tijera le parece pesada? SI NO

¿Tiene el tamaño adecuado para su mano? SI NO

La fuerza que ud hace para accionar la tijera es: Muy poca Poca Normal Mucho Excesiva

¿Se le dificulta apretar la tijera con guantes de caucho? Para nada Muy poco Mucho Demasiado

¿Siente Alguna molestia debido a la actividad de corte de rosas? SI NO

En los dibujos de abajo seleccione el área específica de la(s) molestias:

En los dibujos de abajo seleccione el área específica de la(s) molestias:

¿Ha hecho modificaciones en la herramienta? SI NO

¿Se le resbalan las tijeras por: La Humedad SI NO; El Peso SI NO; El tamaño SI NO; Polvo o tierra SI NO; Otro, ¿Cuál(es)? la tierra del cultivo

¿Algun factor, como clima, hora u otro, le pueden impedir que corte la cantidad de tallos? calor

¿A que horas del día ud. su productividad es mayor? mañana temprano

¿Si tuviera la oportunidad, qué cambio le gustaría hacerle la herramienta que tiene actualmente? mas grande, mas suave en los mangos

¿Ha trabajado con otras herramientas de corte? SI NO

¿Está le han parecido mejores que las que tiene actualmente? SI NO

Cual(es)?

Toma de datos Antropométricos

Longo Mano	185	Circunferencia Mano metacarpal	191
Ancho Mano	02	Circunferencia pulso	249
Ancho muñeca	50	Circunferencia muñeca	160
Grosor mano	27	Circunferencia Mano Puntas Dedos Unidas	203
Profundidad mono	44		

Dedo Pulgar

Articulacion Ancho	15	Articulacion Circunferencia	63
Articulacion Profundidad	17		
Longitud de punta a vertice	56		

Dedo Indica

2Articulacion Distal Ancho	15	2Articulacion Distal Circunferencia	56
2Articulacion Distal Profundidad	11	2Articulacion Proximal Circunferencia	50
2Articulacion Proximal Ancho	10		
2Articulacion Proximal Profundidad	16		
2Longitud de punta a vertice	108		

Dedo Corazon

3Articulacion Distal Ancho	15	3Articulacion Distal Circunferencia	57
3Articulacion Distal Profundidad	12	3Articulacion Proximal Circunferencia	56
3Articulacion Proximal Ancho	18		
3Articulacion Proximal Profundidad	16		
3Longitud de punta a vertice	78		

Dedo Anular

4Longitud de punta a vertice	71		
------------------------------	----	--	--

Dedo Meñique

5Longitud de punta a vertice	59		
------------------------------	----	--	--

Alturas al pliegue de la muñeca

1Altura a prolongacion de muñeca	61
2Altura a prolongacion de muñeca	167
3Altura a prolongacion de muñeca	183
4Altura a prolongacion de muñeca	167
5Altura a prolongacion de muñeca	122

Medicion Pines de Agarre

Apertura Maxima 3	<input type="text"/>
Apertura Maxima 2	<input type="text"/>
Apertura Maxima 4	<input type="text"/>

Toma de Dinamometria

Inicial Normal	21	Final Normal	<input type="text"/>
Inicial Desv radial	<input type="text"/>	Final Desv radial	<input type="text"/>
Inicial Desv ulnar	<input type="text"/>	Final Desv ulnar	<input type="text"/>
Inicial Flexion	<input type="text"/>	Final Flexion	<input type="text"/>
Inicial Extension	<input type="text"/>	Final Extension	<input type="text"/>
Inicial Pronacion	<input type="text"/>	Final Pronacion	<input type="text"/>
Inicial Supinacion	<input type="text"/>	Final Supinacion	<input type="text"/>

Registro: 14 de 24

Fuente: Castillo, G. (2009).

4. Resultados obtenidos

El resultado a la fecha de este proceso de investigación está en la etapa de construcción del modelo funcional, para realizar los ajustes pertinentes en todas las variables

involucradas en las correcciones de dicho modelo.

El resultado final será un prototipo de herramienta para el proceso de corte y poda de la rosa con todas las funciones y prestaciones del producto final.

» Generación de nuevo conocimiento

Resultado/producto esperado	Indicador	Beneficiario
Prototipo funcional para el corte y poda de la rosa que minimice los riesgos osteomusculares.	Sistema mecánico en funcionamiento que disminuya la enfermedad del túnel del carpo.	Comunidad floricultora interesada en nuevos diseños y aplicaciones. Población académica del SENA. Grupos y centros de investigación que coinvestiguen en este proyecto.

» Apropiación social del conocimiento

Resultado/producto esperado	Indicador	Beneficiario
Fortalecimiento del grupo de investigación creando un grupo multidisciplinario de trabajo.	Creación de nuevas propuestas de investigación aplicada que cumplan una función social.	Grupo de especialistas que pueden contar con una herramienta nueva de trabajo.
Publicación de artículos en revistas especializadas.	<i>Journal Applied Ergonomics.</i> <i>Journal of Sports Medicine.</i>	Comunidad académica en general técnica, tecnológica, profesional y de maestría de las áreas de mecanizado industrial, CNC, automatización industrial, salud ocupacional, medicina del deporte, fisioterapia, rehabilitación, etc. Industria manufacturera.

» Impacto esperado

Impacto esperado	Plazo: años después de finalizado el proyecto (corto: 1-4; mediano: 5-9; largo: 10 o más)	Indicador verificable
Protocolos de trabajo experimental.	Corto plazo: 1 año.	Posibilidad de nuevas investigaciones.
Otras entidades adquiriendo este tipo de equipos.	Corto plazo: 3-4 años.	Necesidad de implementar en sus programas de producción nuevas formas de corte.
Impulso de la creación del Instituto Colombiano para el Diseño de Herramientas Manuales.	Largo plazo: 10 años.	Implementación de nuevas políticas de investigación y desarrollo, enfocadas en la prevención de enfermedades de tipo laboral.

5. Equipo de investigación

5.1 Equipo de investigadores necesarios para el proyecto

Director del proyecto: coordina y supervisa toda la información producida por el proyecto. Participa en el diseño de la herramienta según las especificaciones de este y da a conocer el producto final para su posterior evaluación de funcionalidad y aplicabilidad.

Semillero de investigación: encargado de la aplicación de encuestas, mediciones de campo, toma de medidas, ejecución de protocolos de comprobación, manejo de equipos y registro audiovisual, así como de su respectiva divulgación y administración en medios físicos, digitales y TIC.

Ingeniero mecánico: apoya en la aplicación de los resultados del análisis de los datos antropométricos y dinamométricos encontrados.

6. Presupuesto del proyecto

Rubros	Fuentes			Total (miles de pesos)
	Colciencias	SENA	Otra	
Personal	\$ 32.407,6	\$ 89.455,8	\$ 0,0	\$ 121.863,3
Equipo	\$ 5.225,8	\$ 919,2	\$ 0,0	\$ 6.145
Equipo propio uso		\$ 2.770,0	\$ 0,0	\$ 2.770,0

Rubros	Fuentes			Total (miles de pesos)
	Colciencias	SENA	Otra	
Materiales	\$ 445,0	\$ 55,0	\$ 0,0	\$ 500,0
Salidas de campo	\$ 5.000,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 5.000,0
Viajes	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0
Bibliografía	\$ 500,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 500,0
Software	\$ 2.362,5	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 2.362,5
Publicaciones	\$ 0,0	\$ 700,0	\$ 0,0	\$ 700,0
Servicios técnicos	\$ 5.340,0	\$ 660,0	\$ 0,0	\$ 6.000,0
Construcciones	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0
Mantenimiento		\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0
Administración		\$ 254,9	\$ 0,0	\$ 254,9
Evaluación y seguimiento	\$ 2.427,9	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 2.427,9
Total	\$ 50.986,3	\$ 94.387,4	\$ 0,0	\$ 148.674,0

Este presupuesto está por detallarse, de acuerdo con los recursos físicos disponibles y los monetarios

asignados al grupo de investigadores que lo desarrollará y está sujeto a modificaciones.

REFERENCIAS

- Abeysekera, J. D. A., Shahnavaz, H. Chapman, L. J. (1990). Ergonomics in developing countries. En B. Das (Ed.). *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*. Londres: Taylor & Francis.
- Ahonen, Launis, y Kuorinka. (1989). *Ergonomic Workplace Analysis*. Helsinki: Instituto Finlandés de Medicina del Trabajo.
- Blumberg, M. (1988). Towards a new theory of job design. En *Ergonomics of Hybrid Automated Systems*, W Karwowski, HR Parsaei y MR Wilhelm. Amsterdam: Elsevier.
- Campion, M. A. (1988). Interdisciplinary approaches to job design: A constructive replication with extensions. *J Appl Psychol* 73, 467-481.
- Chaffin, DB. (1969). A computerized biomechanical model-development of and use in studying gross body actions. *J Biomech* 2, 429-441.
- Chaffin, Andersson y Martin. (1999). *Occupational Biomechanics*. Third Edition, 252-269.
- Chapanis, A. (1975). *Ethnic Variables in Human Factors Engineering*. Baltimore: Johns Hopkins University.
- Coch, L. French, J. R. P. (1948). Overcoming resistance to change. *Hum Relat* 1, 512-532.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (1990). *Ergonomic Principles of the Design of Work Systems. EEC Council Directive 90/269/EEC, Minimal health and safety requirements for manual handling of loads*. Bruselas: CEN.
- Corlett, N. (1988). The investigation and evaluation of work and workplaces. *Ergonomics* 31, 727-734.
- Drury, C. G. (1987). A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. *Sem Occup Med* 2, 41-49.
- Edholm, O. G. (1966). The assessment of habitual activity. En *Physical Activity in Health and Disease*, K Evang y K Lange-Andersen. Oslo: Universitetterlaget. Eilers, K, Nachreiner, F., Hänicke, K. (1986).
- Eastman Kodak Company. (1983). *Ergonomic design for people at work*. Vol. II: The design of jobs, including work patterns, hours of work, manual materials handling tasks, methods to evaluate job demands, and physiological basis of work. New York.
- Fleishman, E. A., Quaintance, M. K. (1984). *Toxonomies of Human Performance: The Description of Human Tasks*.
- Glesson, N. P. y Mercer, T.H. The Utility of Isokinetic Dynamometry in the Assessment of Human Muscle Function. *Sports Med* 21, 18-34.

- Gowitzke, B. A. (s. f.). Understanding the scientific bases of human movement.
- Kapanji, I. A. (s. f.). Cuadernos de fisiología articular: Esquemas comentados de mecánica articular.
- Konz, S. (1979). Design of Handtools. In Proceedings of the Human Factor Society Meeting. Boston, 293-300.
- Konz, S. (1990). Workstation organization and design. *Ergonomics* 32, 795-811.
- Kroemer, Khe, Kroemer, H. B. Kroemer-Elbert Ke. (1994). *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*.
- Llano, J. C. (2005). Curso Internacional en tendencias y oportunidades de investigación en salud ocupacional. Ministerio de la Protección Social. Ponencia.
- Molina & Malaber (s. f.). Guía para el estudio de la anatomía y fisiología del movimiento humano.
- Nicholas, J. (s. f.). Medicina Deportiva. Patología de las extremidades superiores.
- NTP 311: Microtraumatismos repetitivos: estudio y prevención. (Redact. M^a Dolores Solé Gómez). Especialista en Medicina del Trabajo. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.
- OIT. (1999). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. En OIT, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (Ed.). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Scheaffer, Mendenhall & Ot. (1987). Elementos de muestreo. Muestreo irrestricto aleatorio. Capítulo 4, 57-60.
- Stamler, J. H. (1993). *The Dictionary of Human Factors Ergonomics*. Boca Raton: CRC Press.
- Woodson, W. E., Tillman, B. Tillman, P. (1991). *Human Factors Design Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Wakula, Berg y Landau Kurt, Popp. (s. f.). The Influence of forearm - wrist orientation, handgrip span and some anthropometric had parameters on static maximal grip strength as a design criterion for pruning hand tools.
- Zamudio, R. (2004). Mujer y contexto de género. Ponencia. Tenjo. Cundinamarca. Colombia.

Desarrollo de un dispositivo de parada súbita para procesos de taladrado

Development of a quick-stop device for drilling processes

Doctor Rolf Bertrand Schroeter, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,
rolf@emc.ufsc.br

Bruno Sbravati, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,
b.sbravati@gmail.com

Diego Alejandro Neira Moreno, gestor sénior Red Tecnoparque Colombia SENA nodo Ocaña,
dialneira@misena.edu.do

Traducción:

Diego Alejandro Neira Moreno

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Tecnoparque nodo Ocaña
Regional Norte de Santander

FECHA DE RECEPCIÓN: 21 DE FEBRERO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 28 DE ABRIL DE 2014

RESUMEN

En la elaboración de agujeros cilíndricos de pequeño diámetro, generalmente de hasta 12 mm, la principal herramienta utilizada es la broca helicoidal. Debido a la complejidad geométrica de esta herramienta y a la imposibilidad de visualizar el proceso de corte durante el taladrado, se dificulta el estudio de los fenómenos que acontecen durante el corte del material de la pieza de trabajo. Para poder realizar el análisis de tales fenómenos en aquellas condiciones, es importante la preservación de las virutas generadas durante el proceso de taladrado, ya que pueden colaborar con la comprensión de las alteraciones sufridas por el material de la pieza por cuenta del proceso de mecanizado, como por ejemplo las alteraciones microestructurales que permiten relacionar el aumento de la dureza del material de la pieza de trabajo en diferentes regiones del agujero o el grado de deformación y la temperatura generada durante el proceso de corte, así como el ángulo de cizallamiento que presentan las virutas obtenidas, pudiéndose observar y medir mediante técnicas de metalografía en mediciones de microdureza.

Si se ejecuta una parada convencional de la máquina herramienta durante un proceso de taladrado, el corte del material de trabajo no cesa instantáneamente; por tanto, durante la detención de la máquina herramienta las condiciones de corte son diferentes a las existentes durante el transcurso normal del proceso de taladrado, lo que supone la obtención de raíces de viruta que no son representativas de aquellas virutas que se generan durante el proceso normal de corte. Por este motivo, se hace esencial el desarrollo de un dispositivo que ejecute una parada súbita del proceso de taladrado. Este dispositivo, usualmente llamado *quick-stop device* (QSD), es bastante utilizado en ensayos de torneado; mientras que para ensayos de taladrado su uso es todavía poco difundido.

Con el objetivo de aumentar los conocimientos en esta área, fue desarrollado, construido y ensayado un dispositivo de parada súbita para el proceso de taladrado con brocas helicoidales. El dispositivo de parada súbita desarrollado

se mostró funcional y con buenas características de reproducibilidad, permitiendo la preservación de raíces de viruta y su posterior estudio a través de los ángulos de cizalladura y la verificación del grado de endurecimiento por deformación en la región del filo transversal, entre otros aspectos. En este trabajo son discutidos y analizados los principales aspectos de diseño del dispositivo, la metodología utilizada para los ensayos de taladrado, así como los resultados obtenidos hasta el momento utilizándose velocidades de corte de hasta 120 m/min en avances de 0,3 mm para brocas de metal duro.

Palabras clave: taladrado, broca helicoidal, raíz de viruta, dispositivo de parada súbita.

ABSTRACT

In the drilling of small diameter cylindrical holes, typically smaller than 12 mm, the most employed tool is the twist drill. In this kind of tool, the geometrical complexity and the impossibility on observing the process makes difficult to study the phenomena that appears during the cutting process. To make it possible is important the preservation of the chip roots generated during the machining, as they can be useful to understand this machining process. By observing the chip root's microstructural modifications is possible to establish relationships between the workhardening levels in different regions inside the drilled hole with the strain levels, drilling temperatures and the shear angles as well, using metallography techniques and microhardness measurements. By simply turning-off the machine-too, the cutting process doesn't stop suddenly. Then the cutting continues under other conditions that are different than the original cutting parameters, interfering by this way the real chip root's characteristics cutting condition. For this reason it becomes essential the development of a device that sudden stops the drilling. This equipment, often referred as Quick-Stop Device (QSD). It is widely used for turning process, however for drilling tests its use is not common. On the going behind the objective to increase the knowledge about the drilling process, one QSD for drilling was design, built and tested. This device worked and with

good repeatability, allowing the freezing of the cutting process and enabling the subsequent study the chip roots in their formation stage, by the analysis of the shear-plane angles, the degree of work hardening and other aspects as well as. Here the main project design factors and the methodology employed for the drilling experiments were discussed and analyzed. Cutting speeds below 120 m/min and feed rates below 0,3 mm and carbide twist drills were used in the drilling experiments.

Keywords: Drilling, Twist Drill, Chip Root, Quick-Stop Device (QSD).

INTRODUCCIÓN

El proceso de taladrado es uno de los procesos de mecanizado más importantes en la industria metalmeccánica, tiene importantes aplicaciones que van desde su uso doméstico hasta complejas cirugías en el área médica. En algunas industrias el número de operaciones de taladrado y el tiempo empleado en ellas pueden superar el 50% del total de todas las operaciones de mecanizado cuando es comparado con otros procesos, como el torneado y el fresado. En la industria aeronáutica el proceso de taladrado es de una gran importancia debido a su utilidad en la fabricación de grandes componentes, como alas de avión, que, en algunos casos, pueden tener más de 45.000 agujeros. En la industria automotriz el proceso de taladrado también es bastante utilizado, por ejemplo en la fabricación de bloques de motor e innumerables componentes.

Actualmente, debido a la naturaleza altamente competitiva del mercado metalmeccánico, el medio productivo percibió la importancia de fabricar productos de alta calidad, bajo costo y grandes cantidades. Para enfrentar y adaptarse a este escenario con todas las variables que involucran los procesos de mecanizado, es cada vez más

importante el empleo de modelos matemáticos que sirvan como herramienta para la toma de decisiones que van desde la selección de las herramientas de corte, los parámetros de corte, el diseño de nuevas máquinas herramienta, la predicción de las fuerzas de corte y otros aspectos adicionales.

El modelado y simulación de los fenómenos relacionados con la formación de virutas durante una operación de mecanizado tiene en este contexto una gran importancia. Todavía, diferente a otros procesos de mecanizado, como los procesos de torneado y fresado, en el proceso de taladrado no es posible observar la formación de las virutas en cuanto que la broca penetra en el agujero que se realiza en la pieza de trabajo, hecho que lo convierte en uno de los procesos más difíciles de modelar y, por tanto, uno de los procesos menos entendidos tecnológicamente. En este sentido, los dispositivos de parada súbita, así no permitan observar la formación de la viruta dentro del agujero en tiempo real, permiten obtener muestras que posibilitan el análisis microestructural de las virutas e inferir a través de ellos cómo la broca corta el material. A partir de estas informaciones se hace posible una mayor comprensión de cómo las variables del proceso afectan el desempeño de la broca helicoidal durante el proceso de taladrado.

1. Fundamentación teórica

1.1 Dispositivos de parada súbita para procesos de taladrado

El buen desempeño de los procesos de mecanizado con herramientas de geometría definida y su modelamiento dependen del entendimiento de los mecanismos de formación de la viruta. Para esto se pueden aplicar técnicas de interrupción del proceso de mecanizado junto con la posterior aplicación de técnicas de análisis metalográfico para verificar el grado de deformación de la pieza de trabajo durante el corte (Wu, Wang y Tsai, 2005).

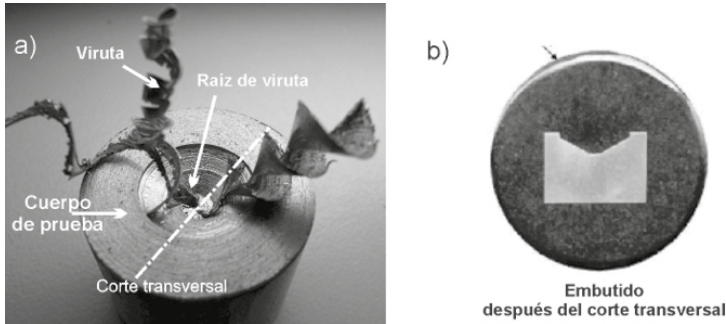
Los dispositivos de parada súbita, conocidos por las siglas QSD, son instrumentos de investigación desarrollados para la recolección de muestras de raíces de viruta. Las muestras de raíces de viruta, obtenidas mediante la interrupción súbita del proceso de mecanizado, se definen como virutas parcialmente formadas que están todavía adheridas a los cuerpos de prueba, como se puede ver en la Figura 1a).

Cuando se retira el cuerpo de prueba con la raíz de viruta adherida a él al finalizar la detención súbita del proceso de taladrado, se retira el material próximo a la raíz de viruta que se considera sobrante utilizándose para esto otros procesos

de mecanizado, como por ejemplo el proceso de aserrado, el fresado o el proceso de electroerosión. Cualquiera que sea el proceso empleado, se debe considerar la selección del sobrematerial de mecanizado adecuado para que el factor de temperatura y la deformación plástica inducida por el arranque del material sobrante no modifiquen la microestructura de la raíz de la viruta, ya que el objetivo principal es estudiar apenas las alteraciones provocadas por el proceso de mecanizado que está siendo analizado (Ellis, Kirk y Barrow, 1969; Dolinšek, 2003; Geel, 2007).

Concluida la etapa de remover el material sobrante próximo a la raíz de la viruta con el objetivo de realizar su respectivo análisis metalográfico, se inserta la raíz de la viruta en una pastilla de baquelita conforme a la Figura 1b). El análisis metalográfico servirá para estudiar la tasa de deformación plástica sufrida por el material del cuerpo de prueba en la región del centro del agujero con el gasto de energía empleado en el proceso de mecanizado, la magnitud de las fuerzas de corte, la temperatura generada en el proceso, la vida de la herramienta, el grado de endurecimiento por deformación del material de la pieza y otros aspectos útiles en la formulación y validación de modelos matemáticos predictivos aplicados a los procesos de mecanizado (Dolinšek, 2003).

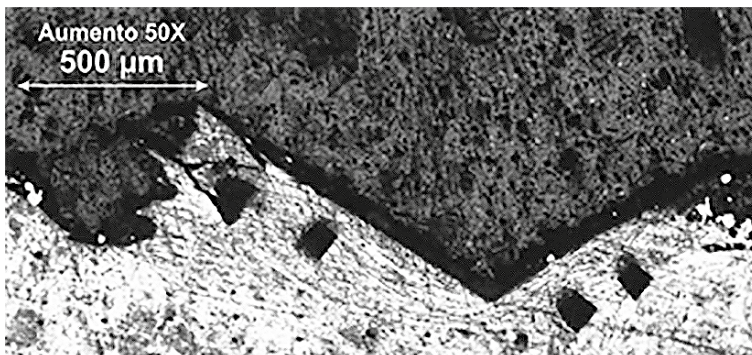
Figura 1. a) Cuerpo de prueba obtenido en la parada súbita del proceso de taladrado con broca helicoidal. b) Cuerpo de prueba embutido en baquelita después del corte.



Después del proceso de insertar el cuerpo de prueba en una pastilla de baquelita, para realizar adecuadamente el análisis metalográfico, esta debe pasar por varias etapas de lijado en las cuales son empleadas lijas con tamaño de grano abrasivo número 80 hasta el número 1200 y por una etapa de pulido con polvo abrasivo de alúmina con granulometría $0,3 \mu\text{m}$ y $0,1 \mu\text{m}$. Una vez terminado el proceso de lijado y pulido se revela la microestructura del material del cuerpo de prueba mediante un ataque químico con una solución de Nital 2%. El resultado final de este proceso es

la posibilidad de realizar una micrografía en la cual se hace posible distinguir las regiones que poseen un alto grado de deformación plástica y que se pueden caracterizar cuantitativamente por mediciones de microdureza Vickers (Geels, 2007). La Figura 2 muestra una micrografía correspondiente a la región del centro del agujero taladrado con una broca helicoidal; al mismo tiempo son perceptibles las indentaciones realizadas con una punta de diamante piramidal durante el proceso de medición de microdureza en las áreas con microestructura más deformada.

Figura 2. Raíz de viruta en la región del centro del agujero.

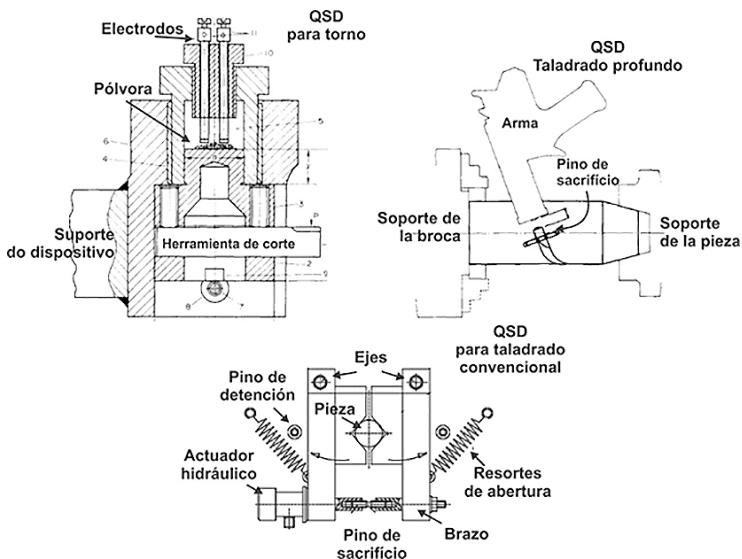


1.2 Funcionamiento de los dispositivos de parada súbita (QSD)

Según Satheesha *et al.* (1990), existen dos métodos que se emplean en la obtención de raíces de viruta, los cuales pueden ser divididos en los que provocan la fractura de la propia herramienta de corte o de un pasador de sacrificio y los dispositivos que se basan en el método de eliminar el movimiento relativo entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte. Generalmente, el primer método es utilizado cuando los ensayos experimentales involucran el uso de piezas que acumulan mucha inercia y que difícilmente se pueden acelerar instantáneamente; mientras que el método de reducir el movimiento relativo entre la pieza y la herramienta de corte es el método más aplicado en los casos en que el cuerpo de prueba posee un peso y dimensiones reducidos.

En la literatura existen relatos de diversos diseños de QSD que utilizan el método de reducción de velocidad relativa para su aplicación en diferentes procesos de mecanizado, la mayoría para procesos de torneado (Griffiths, 1986). La mayoría de estos diseños se destacan por su complejidad debido al número de piezas que conforman el dispositivo y el uso de tecnología costosa, como sistemas hidráulicos, sistemas magnéticos o recursos peligrosos, como la pólvora para garantizar un accionamiento instantáneo. Para el accionamiento del dispositivo generalmente se efectúa la ruptura de un pasador de sacrificio que debe ser sustituido cada vez que el QSD sea accionado. La Figura 3 presenta diferentes métodos de abertura propuestos por diversos investigadores para su aplicación en procesos de torneado y taladrado (Wu *et al.*, 2005).

Figura 3. Diferentes métodos de abertura



1.3 Requerimientos fundamentales del QSD

Para que un QSD funcione satisfactoriamente en cualquier proceso, se deben cumplir los siguientes requerimientos generales (Ellis, Kirk y Barrow, 1969; Griffiths, 1986):

1. El tiempo transcurrido desde el accionamiento del dispositivo hasta la parada total de proceso debe ser corto.
2. La distancia de separación relativa entre la herramienta y el cuerpo de prueba debe ser pequeña.
3. Las modificaciones geométricas y metalúrgicas en la raíz de la viruta, inducidas por la acción del dispositivo, deben ser mínimas.
4. Las vibraciones inducidas por el corte del material y el accionamiento del dispositivo deben ser mínimas.
5. El dispositivo debe tener buenas características dinámicas y estáticas para la sujeción de la herramienta de corte y el cuerpo de prueba.
6. La herramienta no se debe dañar como consecuencia del proceso de accionamiento del dispositivo.
7. El dispositivo debe ser seguro y fácil de usar, confiable y debe

ofrecer buena reproducibilidad en los resultados.

No es posible diseñar un QSD que pueda cumplir al mismo tiempo con todos los requerimientos descritos anteriormente, lo que significa que es necesario aplicar algunas relaciones de compromiso.

Para el caso específico del proceso de taladrado con brocas helicoidales, ya existen algunos aspectos prácticos para ser tomados en cuenta durante el diseño del QSD. Uno de ellos es usar un sistema de apertura bilateral para evitar un desequilibrio en las fuerzas que actúan sobre el sistema pieza-herramienta de corte que pueda quebrar la broca, principalmente si se trata de herramientas de materiales frágiles, como el metal duro. El uso de masas pequeñas y bien distribuidas ayuda a la disminución del momento de inercia rotacional, lo que favorece una abertura súbita del dispositivo. Para el cuerpo de prueba se recomiendan geometrías cilíndricas (Dolinšek, 2003).

2. Desarrollo de un QSD

Se optó por seguir, de modo general y con algunas adaptaciones, el modelo PRODIP (Proceso de Desarrollo Integrado de Productos) para el desarrollo de productos, el cual fue desarrollado en el NEDIP (Núcleo de Desarrollo Integrado de Productos), grupo de la

UFSC en el área de gerenciamiento de proyectos. El PRODIP consiste en la aplicación de un método sistemático, con un sólido fundamento científico, que permite al diseñador definir e incluir los requerimientos del usuario en el proceso de desarrollo de productos, que en este caso sería el QSD. El proceso de desarrollo consistió en tres macrofases conocidas: diseño informacional, diseño conceptual y diseño preliminar (Ogliari, 2007).

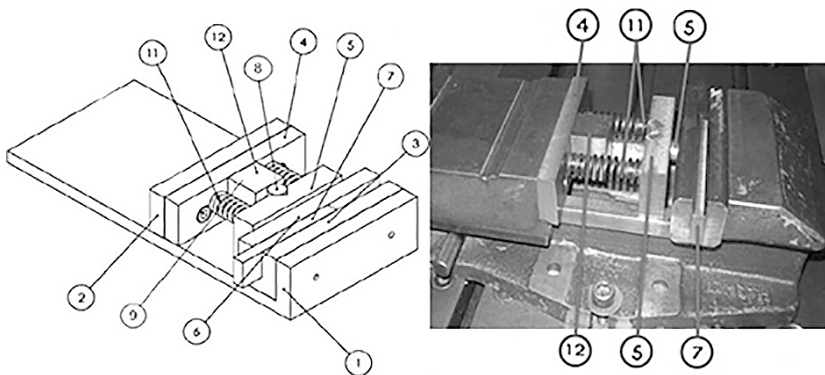
2.1 Diseño informacional

Entre las diversas actividades relacionadas con las investigaciones sobre el proceso de taladrado con brocas helicoidales, un primer dispositivo de parada súbita fue

desarrollado en el laboratorio de mecánica de precisión de la UFSC. Este dispositivo, fabricado enteramente con acero ABNT 1045, fue montado en una prensa hidráulica sujeta a la mesa de la máquina herramienta escogida para realizar los ensayos de taladrado, una máquina fresadora de comando numérico Romi Polaris F400.

Como aparece en la Figura 4, el principio de funcionamiento del dispositivo se fundamentó en la compresión de dos resortes helicoidales (11) y en el disparo de un gatillo (7) que permite el desplazamiento del mordiente móvil (5), liberando el cuerpo de prueba (8) e interrumpiendo de esta forma el proceso de taladrado.

Figura 4. Prototipo de QSD desarrollado



El dispositivo fue ensayado y validado, permitiendo la obtención de resultados satisfactorios apenas para bajas velocidades de corte, porque para velocidades más al-

tas la apertura del dispositivo no acontecía con la rapidez suficiente. Además, debido a la apertura unilateral del mordiente del dispositivo, se presentaron rupturas

frecuentes en las brocas de metal duro durante los ensayos. Una hipótesis respecto a la ocurrencia de ese problema fue el desequilibrio momentáneo de las fuerzas laterales que actúan sobre la broca, que resultaba lo suficientemente grande para provocar la falla catastrófica de la herramienta. Esta pérdida de brocas hacía los ensayos costosos y de baja reproductibilidad. Se verificó también la deformación plástica del pasador y del gatillo, ya que el área de contacto entre los componentes disminuye paulatinamente durante el proceso de apertura, generando grandes tensiones localizadas que deforman los componentes plásticamente.

Frente a estos problemas, se elaboró una recopilación de toda la información relacionada con los inconvenientes que se presentaron con el QSD anterior, así como un levantamiento de la información relevante sobre los demás requisitos que un nuevo dispositivo debería tener para que pudiera adaptarse a todas las exigencias de su aplicación.

Aplicando la metodología de la Casa de la Calidad, los requisitos fueron clasificados en diferentes categorías basadas en aspectos cinemáticos, dinámicos, constructivos, de sujeción, de seguridad y de operación; en seguida fueron analizados desde el punto de vista de su relevancia. En total, fueron reunidos 20 requisitos diferentes, que fueron transformados en es-

pecificaciones de ingeniería, para que fueran de mayor utilidad en las siguientes etapas del proceso de desarrollo del nuevo dispositivo.

El nuevo QSD debe ser fabricado con los materiales y la geometría más convenientes para que su vida útil sea amplia (más de tres años), su dureza debe ser la suficiente para disminuir las vibraciones y evitar que interfieran en la formación de viruta durante el proceso de taladrado o provoquen el quiebre de la herramienta de corte. Sin embargo, el dispositivo debe tener bajo peso (como máximo 15 kg) y bajo volumen (inferior a 0,05 m³) para que, en caso de ser necesario, pueda ser transportado e instalado en otra máquina herramienta. El dispositivo también debe ser simple en su funcionamiento, para que su operación y mantenimiento sean fáciles. No debe ser necesaria mucha fuerza para armar el dispositivo (menos de 5 kN) y la velocidad de apertura debe ser alta (tiempo de apertura máximo de 1 ms).

2.2 Diseño conceptual

Se presentaron diferentes ideas y opciones para hacer un dispositivo que pudiera cumplir con las especificaciones de diseño definidas en la fase anterior. Se elaboró una matriz morfológica en la cual se listaron las diferentes propuestas de solución para cada una de las funciones del QSD. Estas propuestas fueron también analizadas y

fueron escogidas las que satisfacían la mayoría de las especificaciones de diseño.

La escogencia de la propuesta resultó en un escenario más claro de cómo debía estar constituido el QSD. La Tabla 1 muestra las diferentes características que definen la concepción del dispositivo.

Tabla 1. Concepto del QSD

Sujeción del QSD	Prensa
Restricción para engatillar:	Gatillo
Sujeción del cuerpo de prueba:	Mordientes
Energía de sujeción del cuerpo de prueba:	Hidráulica
Señal de accionamiento:	Manual
Energía de liberación:	Resortes
Tipo de apertura:	Bilateral

La Figura 5 muestra las partes del diseño conceptual del nuevo dispositivo. Para entender el dispositivo se muestra la vista explosionada de las piezas para evidenciar el montaje del QSD. Primero el dispositivo muestra simetría geométrica como consecuencia del concepto de apertura bilateral. Los dos lados del dispositivo son iguales y opuestos. Para realizar el ensamblaje del QSD se deben atornillar el mordiente en V (2), la placa base (6) y el pasador (7). El gatillo (9) se posiciona dentro del perfil en U (11). El gatillo rota en torno del tornillo (8), funcionando este como eje. El QSD se arma al elevar el gatillo (9) hasta impedir el movimiento del pasador (7) y por consiguiente del mordiente en V como un todo. Luego la prensa se cierra comprimiendo los resortes de apertura (3), los cuales actúan sobre los batientes (6).

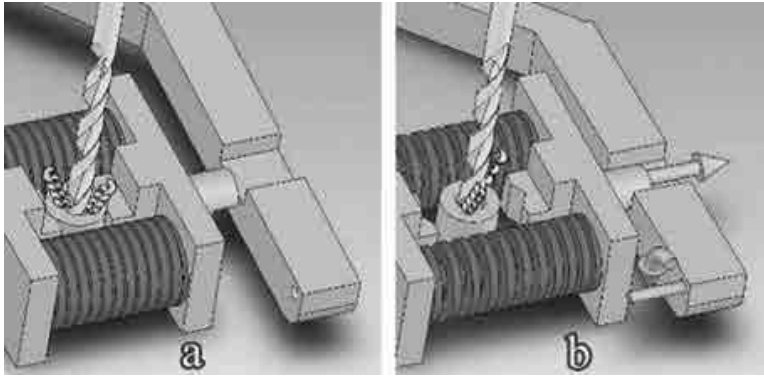
Figura 5. Componentes del QSD



Conforme a la Figura 6, se verifica que al disparar el gatillo aplicando un golpe sobre el amortiguador, el gatillo rota hacia abajo, permitiendo el movimiento de los mordientes en V. Como estos

están siendo presionados por los resortes helicoidales, los mordientes en V se abren rápidamente, permitiendo que el cuerpo de prueba gire libremente junto con la broca.

Figura 6. Estado abierto (a) y cerrado (b) del dispositivo



2.3 Diseño preliminar

Con el objetivo de implementar sobre el nuevo QSD los requerimientos establecidos en la etapa informativa, se planeó un procedimiento que involucra, principalmente, determinar las fuerzas actuantes sobre el dispositivo, con el objetivo de calcular la fuerza necesaria para sujetar el cuerpo de prueba, realizar la escogencia adecuada de los materiales de los componentes del dispositivo y de los resortes de apertura, y calcular la fuerza necesaria para accionar el dispositivo. El procedimiento está compuesto por cuatro partes: determinar la fuerza de apriete necesaria para sujetar el cuerpo de prueba durante los ensayos de taladrado; analizar las solicitaciones mecánicas de los componentes del dispositivo; calcular la fuerza necesaria para su accionamiento y, por último, calcular el tiempo de apertura del dispositivo.

2.3.1 Fuerza de apriete

Para que el cuerpo de prueba permanezca estático durante el taladrado, la fuerza de fricción entre los mordientes en V y el cuerpo de prueba debe ser igual a la fuerza de avance, como se expresa en la ecuación (1), en la cual F_{ap} es la fuerza de apriete, μ es el coeficiente de fricción entre los mordientes y el cuerpo de prueba, y F_f es la fuerza de corte en el sentido del avance.

$$F_{ap} \geq \mu F_f \quad (1)$$

Según Norton (2004), se asume que el coeficiente de atrito μ depende de las propiedades mecánicas de los materiales en contacto y de las tensiones de Hertz. Se usó este concepto para determinar el valor de este coeficiente aplicando las fórmulas de ingeniería disponibles en la literatura sobre diseño de máquinas. El valor de μ entre el

cuerpo de prueba y los mordientes en V es aproximadamente 0,59.

Para calcular la fuerza de avance se utilizó el modelo empírico presentado en la ecuación (2). Desarrollado por Shawn y Oxford (Karabay, 2007), el modelo está en función del material del cuerpo de prueba, la velocidad de avance y el diámetro de la broca.

Al insertarse los siguientes valores en la ecuación (2), se determina que la fuerza de avance para la cual debe diseñarse el QSD es de 3,6 kN.

HB = 165 Dureza Brinell de los cuerpos de prueba usados en los ensayos de taladrado. Acero AISI 1045

F = 0,3 mm Velocidad de avance

D = 10 mm Diámetro de las brocas empleadas en los ensayos de taladrado

$$F_f = 12,501 * H_B * f^{0,8} * d^{0,8} - 0,02542 * H_B * d^2 = 3,6 \text{ kN} \quad (2)$$

Al insertar el resultado de la ecuación (2) y el coeficiente de fricción en la ecuación (1), el resultado de la fuerza de apriete es 6,1 kN, como aparece en la ecuación (3).

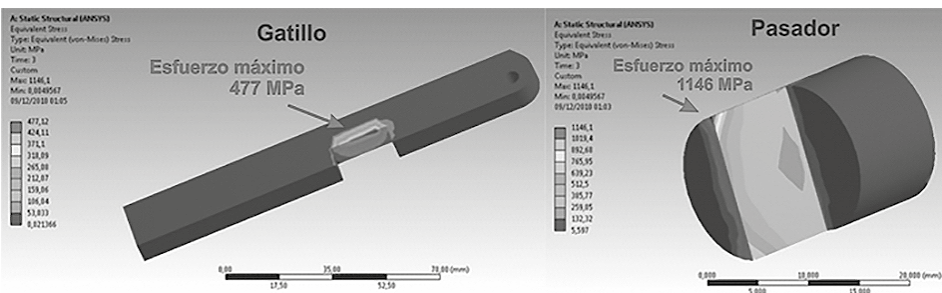
$$F_a = \frac{F_f}{0,59} = \frac{3,6}{0,59} = 6,1 \text{ kN} \quad (3)$$

Como la prensa disponible puede ejercer hasta 14 kN, es posible generar la fuerza de apriete suficiente para mantener fijo el cuerpo de prueba durante los ensayos de taladrado.

2.3.2 Análisis de los requerimientos mecánicos

A partir del cálculo de la fuerza de apriete de la ecuación (3), para determinar si el pasador y el gatillo reaccionan sin deformación plástica cuando están sometidos a fuerzas de apriete, se analizaron los esfuerzos que actúan sobre estos componentes del QSD aplicando el método de elementos finitos usando el software ANSYS, como en la Figura (7).

Figura 7. Análisis de esfuerzos sobre el gatillo y el pasador de acero AISI 1045



Los resultados del análisis de elementos finitos indicaron que mientras en el gatillo se estimó una tensión máxima de 477 MPa, la estimativa del esfuerzo máximo en el pasador fue de 1.146 MPa. Estos esfuerzos actúan intensamente en los bordes de los componentes, como se ve en la Figura 7. Debido al resultado de este análisis se decidió optar por el acero AISI 4340 en vez del acero AISI 1045 para que los componentes tuvieran mayor dureza y un límite de fluencia más elevado.

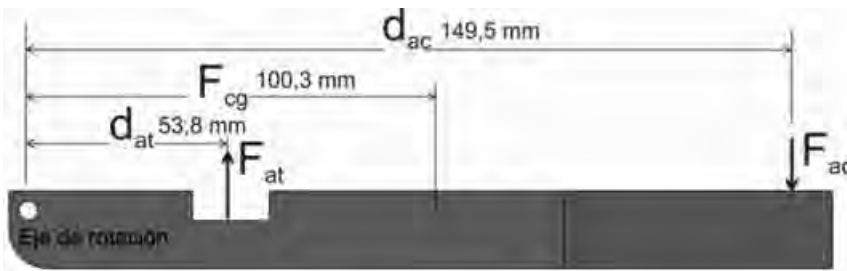
2.3.3 Cálculo de la fuerza de accionamiento

Para determinar la fuerza de accionamiento del dispositivo, primero se analizó la ecuación (4), que expresa el momento angular de inercia del gatillo.

$$F_{ac} * d_{ac} - F_{at} * d_{at} = I * W \quad (4)$$

Cuando se aplica la fuerza de accionamiento con un golpe de martillo, actúan dos momentos de torsión, como aparece en la Figura 8: el causado por la fuerza de accionamiento F_{ac} y el de torsión como consecuencia de la fuerza de fricción F_{at} .

Figura 8. Diagrama de cuerpo libre aplicado al gatillo



Se expandieron las expresiones correspondientes a la fuerza de fricción F_{at} y a la velocidad angular del gatillo W para transformar la ecuación 5 en la ecuación 6.

$$F_{at} * d_{at} - (\mu * F_{ac}) * d_{at} = I * \left(\frac{2 * \theta}{t^2} \right) \quad (5)$$

De la ecuación 5, la fuerza de accionamiento se puede calcular como aparece en la ecuación 6.

$$F_{ac} = \frac{2 * I * \theta + \mu * F_{at} * d_{at} * t^2}{d_{at} * t^2} \quad (6)$$

donde

$I = 9,82 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ Momento de inercia de gatillo. Material: acero AISI 4340

$\theta = 8,726 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$ Ángulo de posicionamiento de gatillo en relación con la horizontal

$F_{ap} = 6,1 \cdot 10^3$ N Fuerza de apriete entre el pasador y el gatillo

$\mu = 0,23$ Coeficiente de fricción entre el pasador y el gatillo

$d_{at} = 53,8 \cdot 10^{-3}$ m Longitud de la palanca, medida entre el eje de rotación del gatillo y la fuerza de fricción

$d_{ac} = 194,3 \cdot 10^{-3}$ m Distancia desde el eje de rotación del gatillo hasta el punto de aplicación de la fuerza de accionamiento

$T = 0,005$ s Tiempo de descenso del gatillo

2.3.4 Tiempo de apertura de los mordientes

Según Norton (2004), es posible calcular la deformación entre el cuerpo de prueba y los mordientes. Esta deformación será la que permitirá determinar el tiempo de apertura de los mordientes durante el accionamiento del QSD. Realizándose los cálculos para un cuerpo de prueba de 20 mm de diámetro y 15 mm de alto, sometido a una fuerza de apriete de 6 kN y considerándose también la rugosidad del cuerpo de prueba, es posible estimar los esfuerzos existentes en las regiones en contacto, posibilitándose el cálculo del valor de la deformación máxima, la cual es de $xt = 0,114$ mm.

El tiempo de apertura del QSD puede ser estimado por las ecuaciones

de movimiento rectilíneo uniformemente variado y la segunda ley de Newton, según la ecuación 7.

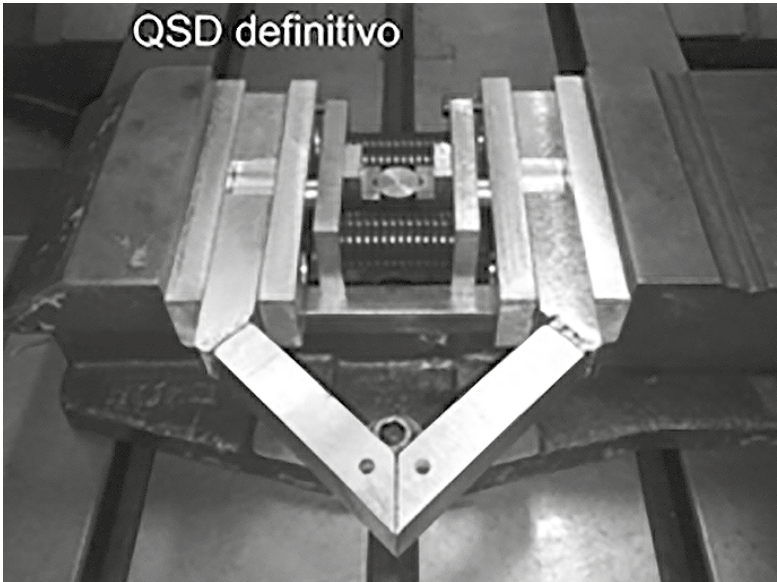
$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot x_t \cdot m}{F_{mol}}} \quad (7)$$

La distancia x_t se definió anteriormente y la masa de los componentes móviles posee un valor de diseño de 0,6 kg. La fuerza suministrada por los resortes F_{mol} debe propiciar una alta aceleración al QSD, no ofrecer dificultad en el armado del dispositivo y permitir un fácil accionamiento del gatillo. Analizando los valores de t en función de F_{mol} , se dimensionaron los resortes para que el par suministrara una fuerza de 2,5 kN en la apertura, resultando un tiempo de apertura de aproximadamente 0,1 ms.

2.3.5 Prototipo

En el QSD definitivo los pasadores y el gatillo se fabricaron con acero AISI 4340, mientras que los demás componentes se fabricaron con acero AISI 1045. Los componentes fueron mecanizados y luego sometidos a un proceso de cincado. El QSD se montó en una prensa hidráulica, como se muestra en la Figura 9, que presenta la disposición final del QSD en estado "armado", con sus resortes comprimidos y un cuerpo de prueba posicionado en el centro.

Figura 9. Dispositivo de parada súbita (QSD)



3. Ensayos con el QSD

Para ensayos de taladrado fueron utilizadas brocas helicoidales de 10 mm de diámetro, de acero rápido del fabricante Irwin, sin afilado especial en la punta y sin revestimiento, además de brocas helicoidales de metal duro del fabricante Sphinx, con tres tipos de afilado en la punta, una de ellas estándar y las demás con afilado de alivio en la punta, del tipo A y tipo C, revestidas con AlCrN. Para los cuerpos de prueba se utilizaron aceros ABNT 1045, ESP 65 y ETG 100. Los ensayos fueron realizados en una fresadora CNC marca Romi Polaris F400.

El debido alistamiento del dispositivo se efectuó antes de cada ensayo,

para asegurar la reproductibilidad. Se emplearon diversos procedimientos, entre estos la verificación continua de los componentes, la lubricación de las superficies de deslizamiento y la centralización de husillo de la máquina herramienta con el cuerpo de prueba con ayuda de un reloj comparador. Se fabricaron muestras de prueba según una matriz de experimentos con 24 ensayos diferentes, en los cuales se variaron el avance, la velocidad de corte, el material del cuerpo de prueba y el tipo de afilado de la punta de la broca.

En la Figura 10, para una misma velocidad de corte de 10 m/min y una velocidad de avance de 0,03 mm, se verifica la diferencia

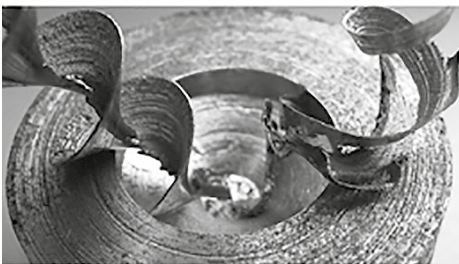
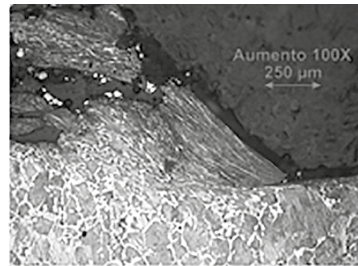
en la formación de la viruta entre una broca estándar y una broca con afilado especial tipo A. La deformación de los granos de la microestructura del material del cuerpo de prueba y las mediciones de dureza

Vickers dan a entender un aumento en la dureza del material en la región del centro del agujero, debido a la deformación plástica, y en relación con esto, un aumento de la fuerza de avance.

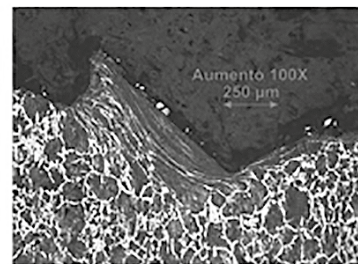
Figura 10. Ensayos con el QSD para brocas tipo A y estándar, con cuerpos de prueba de acero ABNT 1045



Broca tipo Standard de metal-duro
Velocidad de corte: 10 m/min
Avance: 0,03 mm



Broca tipo A
Velocidad de corte: 10 m/min
Avance: 0,03 mm



4. Conclusiones

Con base en los ensayos realizados se concluye que el QSD desarrollado permite la obtención de raíces de viruta para diferentes parámetros de corte, distintas geometrías de brocas helicoidales y cuerpos

de prueba de diferentes materiales. Se ensayaron con éxito avances de 0,01 hasta 0,4 mm por revolución y velocidades de corte entre 10 y 120 m/min, sin fluido refrigerante.

Los artículos científicos recopilados destacan la importancia de la velocidad de interrupción del proceso

de mecanizado para obtener raíces de viruta adecuadas cuya microestructura represente fidedignamente las alteraciones provocadas por el proceso de mecanizado, hecho comprobado por los ensayos realizados.

Se resalta la conveniencia de la apertura bilateral del QSD y de hacer los agujeros lo más centralizados posible en el cuerpo de prueba, para evitar que la broca se quiebre, principalmente cuando se emplean

brocas de metal duro. Estas medidas evitan el desequilibrio de fuerzas radiales que actúan sobre la herramienta de corte en el instante de la apertura del QSD, responsable por ruptura de la broca en este tipo de ensayos experimentales.

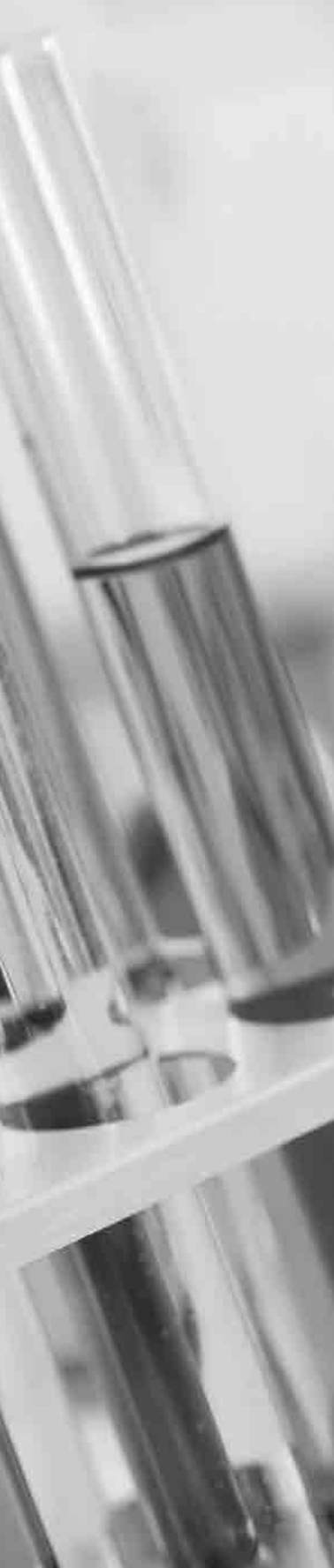
5. Derechos autorales

Los autores son los únicos responsables del contenido del material impreso incluido en este trabajo.

REFERENCIAS

- Dolinšek, S. (2003) Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 133(1-2), 63-70.
- Ellis, J., Kirk, R., e Barrow, G. (1969) The development of a quick-stop device for metal cutting research. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 9(3), 321-339.
- Griffiths, B. (1986) The development of a quick-stop device for use in metal cutting hole manufacturing processes. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol. 26(2), 191-203.
- Geels, K. (2007) Metallographic and Materialographic *Specimen Preparation, Light Microscopy, Image Analysis, and Hardness Testing*. Editorial ASTM International, p. 761.
- Luttervelt, C., Childs, T., Jawahir, I., Klocke, F., Venuvidnod, P. (1998) Present Situation and Future Trends in Modelling of Machining Operations Progress Report of the CIRP Working Group Modelling of Machining Operations. *CIRP Annals*, vol. 47, 587-626.
- Karabay, S. (2006) Performance testing of a constructed drilling dynamometer by deriving empirical equations for drill torque and thrust on SAE 1020 steel. *Materials and Design*, vol. 28 (6), 1780-1793.
- Norton, R. (2004) *Projeto de máquinas - uma abordagem integrada*. 2a Edição, Editora Bookman, 936 p.
- Ogliari, A. (2007) Projeto informacional de produtos. Metodologia de projeto em engenharia mecânica. Notas de Aula, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Philip, P. (1971) Study of the performance characteristics of an explosive quick-stop device for freezing cutting action. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 11(2),. 133-144.
- Satheesha, M., Jain, V., e Kumar, P. (1990) Design and development of a quick-stop device (QSD). *Precision Engineering*, vol. 12(4), 205-212.
- Schneider, G. (2001) Drills & Drilling Operations. *Revista Tooling & Production*, 67 p.





Industria y biotecnología

Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celulolíticos y lignolíticos a partir del suelo de humedales de Bogotá

Isolation of amylolytic, cellulolytic and ligninolytic microorganisms from Bogotá's wetland soils

Sonia Marcela Buitrago Morales, instructora del SENA en el Centro de Gestión Industrial en las especialidades de Química Aplicada a la Industria y Control Ambiental
soniabuitrago@misena.edu.co

Etna Milena Sánchez Castelblanco, instructora del SENA en el Centro de Gestión Industrial en las especialidades de Química Aplicada a la Industria y Gestión Integrada de la Calidad
etnamilena@misena.edu.co

Henry Johan Guerrero Suárez, aprendiz de la especialidad de Química Aplicada a la Industria. Centro de Gestión Industrial SENA
guerrerohj@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro de Gestión Industrial
Regional Distrito Capital

FECHA DE RECEPCIÓN: 28 DE ABRIL DE 2014
FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

Se aislaron microorganismos con actividad enzimática utilizando muestras de suelo provenientes de los humedales Torca, Guaymaral, Córdoba y La Conejera, ubicados en el norte de Bogotá. Usando la técnica de producción de halos de hidrólisis en agar almidón, carboximetilcelulosa y crecimiento en agar extracto aserrín, se seleccionaron 51 cepas: 18 microorganismos amilolíticos, 11 celulolíticos y 22 lignolíticos.

La microscopia microbiana mostró que el 50,98% de las cepas seleccionadas son bacilos Gram positivos, el 33,33% bacilos Gram negativos y el 15,69% hongos.

Los medios de cultivo y las técnicas de evaluación de actividad enzimática permitieron el aislamiento de microorganismos en cada uno de los humedales, siendo las cepas obtenidas de La Conejera las de mayor potencial enzimático.

Con los microorganismos aislados productores de celulasas, lignocelulasas y amilasas se realizará la producción de enzimas que serán utilizadas en la degradación de materiales vegetales para la obtención de etanol, extractos vegetales y otros productos de interés dentro de los proyectos de formación del Centro de Gestión Industrial.

Palabras clave: microorganismos amilolíticos, microorganismos celulolíticos, microorganismos lignolíticos, actividad enzimática, humedal.

ABSTRACT

Using samples from the Torca, Guaymaral, Córdoba and Conejera marshlands located in the north of Bogota city, microorganisms with enzymatic activity were isolated. Using the halo hydrolysis in starch agar production, carboxymethylcellulose and sawdust extract agar growth, 51 strains were selected, 18 of which are amylolytic, 11 cellulolytic and 22 lignolytic.

The microbial microscopy showed that 50.98% of the selected strains are Gram positive bacilli, 33.33% Gram negative and 15.69% fungi.

The culture medium and the enzymatic activity evaluation technique allowed the microorganism isolation in every marshland, in which the strains collected from La Conejera marshland being the ones with higher enzymatic value.

The culture medium and the enzymatic activity evaluation technique allowed for the isolation of the microorganisms in each of the marshlands, with the strains obtained from La Conejera being the ones with the most enzymatic potential. With the cellulase, lignocellulose and amylases producing microorganisms isolated, the production of enzymes that are going to be used in the degradation of vegetable materials in order to obtain methanol, vegetables extracts and other products will begin. These products are of major interest for the educational projects in the Industrial Management Center.

Keywords: Amylolytic Microorganisms, Cellulolytic Microorganisms Ligninolytic Microorganisms, Enzyme Activity, Marshlands.

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos con características enzimáticas brindan una opción en la obtención de metabolitos que puedan ser usados a nivel industrial, aprovechando procesos de biodegradación de los polisacáridos como el almidón, celulosa y lignina, que se encuentran de manera abundante en la naturaleza, específicamente en el material vegetal (Dávila & Vázquez-Duhalt, Enzimas lignocelulolíticas fúngicas para fines ambientales, 2006).

El programa de formación de Química Aplicada a la Industria en el CGI desarrolla proyectos que usan solventes y ácidos para la extracción e hidrólisis de material vegetal. Este trabajo presenta metodologías y resultados del aislamiento y selección de microorganismos productores de enzimas lignolíticas, amilasas y celulasas que permitirán la sustitución de reactivos químicos por compuestos de origen microbiano, generando alternativas de tecnologías limpias.

1. Marco conceptual

El almidón se encuentra en casi todas las plantas, está compuesto por amilosa, constituida por 1.000 a 5.000 moléculas de glucosa y amilopectina, formada por 6.000 a 20.000 unidades de glucosa (Allinge, Cava & De Jongh, 1976). Los microorganismos amilolíticos utilizan enzimas

reductoras para producir azúcares simples. Dentro de estos se identifican bacterias como *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., y *Streptomyces* sp. (Sánchez y otros, 2005).

La celulosa es un polímero de origen vegetal constituido por 15.000 moléculas de D-glucosa. Forma una estructura rígida de cadenas paralelas unidas por puentes de hidrógeno (Cuamatzi, 2004). Los microorganismos celulolíticos son mesofílicos, termofílicos, aerobios y anaerobios de los géneros *Bacillus* sp., *Clostridium* sp., *Streptomyces* y hongos como *Sclerotium* sp., *Aspergillus* sp., *Achlya* sp., *Rhizopus* sp. y *Penicillium* sp. (Gaitán & Pérez, 2007).

La lignina conforma la pared celular de las plantas, es un polímero constituido por celulosa y hemicelulosa (Ortiz, 2009). Los microorganismos lignolíticos catabolizan la celulosa y la hemicelulosa. La mayoría de estos son hongos de la pudrición blanca y algunas bacterias (Dávila & Vázquez-Duhalt, Enzimas lignocelulolíticas fúngicas para fines ambientales, 2006).

2. Materiales y métodos

Se seleccionaron cuatro humedales de la zona norte de Bogotá: Torca, Guaymaral, Córdoba y La Conejera. Se tomaron muestras compuestas de suelo de 100 g y se sembraron en superficie de agar almidón 1% (p/v), carboximetilcelulosa 1%

(p/v) y agar extracto de aserrín. Se incubaron a 30 °C durante 5 días.

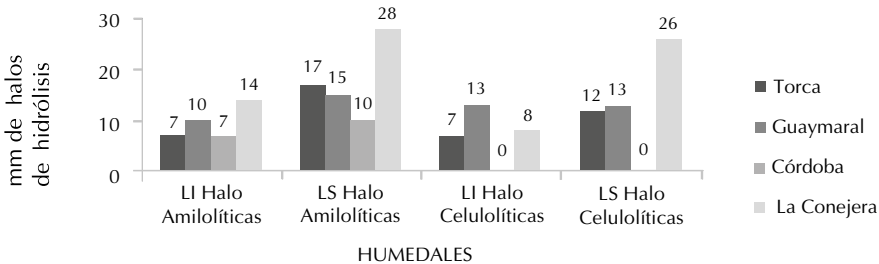
Para revelar halos de hidrólisis de los microorganismos celulolíticos, se usó la técnica de rojo congo al 1% (p/v) según Teather & Wood (1983) y los amilolíticos por adición de lugol (Pedroza, Matiz, Quevedo & Aguirre, 2007). Se realizó la medición del halo seleccionando las cepas (>5 mm); para los lignolíticos se contaron todas las colonias crecidas en el agar extracto de aserrín.

Finalmente, se caracterizaron macroscópica y microscópicamente las colonias y se criopreservaron a -86 °C.

3. Resultados

Los resultados de la medición de la actividad enzimática se presentan en la Figura 1, donde se indican los límites inferiores (LI) y límites superiores (LS) del tamaño de los halos de hidrólisis.

Figura 1. Límites superiores e inferiores de los diámetros de los halos de las cepas seleccionadas



Fuente: autores.

En la Tabla 1 se indica el número de muestras tomadas y cepas seleccionadas por cada uno de los microorganismos evaluados.

En la Tabla 1 se indica el número de muestras tomadas y cepas seleccionadas por cada uno de los microorganismos evaluados.

Tabla 1. Número de cepas amilolíticas, celulolíticas y lignocelulolíticas seleccionadas

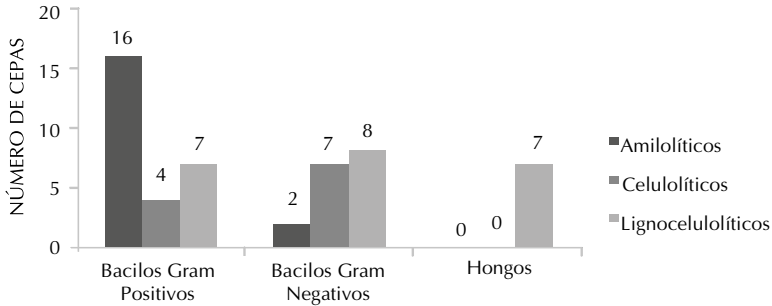
Humedales	Nº de muestras	Cepas amilolíticas	Cepas celulolíticas	Cepas lignocelulolíticas	Total
Torca	4	8	4	6	18
Guaymaral	3	3	1	1	5
Córdoba	5	4	0	7	11
La Conejera	5	4	6	8	18
Total	17	19	11	22	52

Fuente: autores.

De la identificación microscópica de las cepas seleccionadas se ob-

tuvieron los resultados presentados en la Figura 2.

Figura 2. Identificación microscópica de las cepas seleccionadas de acuerdo con su actividad enzimática



Fuente: autores.

4. Análisis de resultados

En los cuatro humedales se logró el aislamiento de microorganismos con actividad enzimática. Se seleccionaron 51 cepas, 18 se aislaron de las muestras provenientes del humedal de Torca y 18 de La Conejera. Estos dos humedales aportaron la mayor cantidad de cepas de interés (ver Tabla 1).

Las cepas obtenidas del humedal de La Conejera presentaron halos de hidrólisis de almidón y celulosa más grandes que las encontradas en los otros humedales. Los microorganismos seleccionados fueron bacilos Gram positivos (27 cepas), seguidos de los bacilos Gram negativos (17) y de hongos (7). Asimismo, 16 de las 18 cepas amilolíticas son bacilos Gram positivos que pueden perte-

ner a *Bacillus* sp., *Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis* (Vihinen & P., 1989).

Aislamientos previos realizados por Suescún *et al.* (s. f.) muestran que en el humedal La Conejera se han encontrado cepas del género *Bacillus* sp., dentro del cual se reportaron varias especies, como *Bacillus polymyxa*, *B. mycoides*, *B. circulans*, indicando que los microorganismos aislados en el presente estudio podrían pertenecer a estos microorganismos.

Las dos cepas amilolíticas Gram negativas seleccionadas pueden corresponder a *Acinetobacter* sp. y a *Aeromonas hydrophila* (Montor, 2013). Mora y Valencia en el 2009 lograron aislar *Aeromonas* sp. con potencial enzimático a partir de muestras de sedimentos

del humedal Jaboque, ubicado en la localidad de Engativá, lo que permite evidenciar la presencia de este microorganismo en los humedales de la ciudad de Bogotá.

Dentro de los celulolíticos seleccionados se encuentran bacilos Gram negativos y Gram positivos que podrían pertenecer a *Cytophaga* sp., *Corynebacterium* sp., *Vibrio* sp., *Pseudomonas* sp., Actinomycetes, *Bacillus* sp., *Cellulomonas* sp., *Microbispora* sp., *Thermomonospora* sp., los cuales han sido reportados con actividad celulolítica (Lynd, Weimer, Zyl & Preterius, 2002). Rueda y colaboradores (2009) aislaron diez cepas de actinomicetos en dos zonas del humedal La Conejera. Asimismo, se han logrado aislamientos de cepas de *Pseudomonas* sp. en este humedal por Suescún *et al.* (s. f.); Mora y Valencia (2009) recuperaron esta especie microbiana del humedal Jaboque, demostrando que este grupo bacteriano celulolítico está presente como parte de la carga microbiana nativa del suelo de los humedales.

Las cepas lignolíticas elegidas muestran la presencia de ocho hongos miceliales que pueden clasificarse como *Phanaerochaete chrysosporium*, *Poliporus* sp., *Poria* sp., *Fomes* sp., *Agaricus* sp., *Pleurotus* sp., *Collybia* sp., *Schizophyllum* sp. y *Fusarium* sp. (Atlas & Barton, 2005). Las bacterias lignolíticas pueden ser identificadas como *Arthrobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp.

y *Pseudomonas* sp. (Atlas & Barton, 2005). Suescún *et al.* (s. f.) reportaron la presencia de *Flavobacterium* sp. en suelos provenientes del humedal La Conejera, indicando la posibilidad de que alguna de las cepas bacterianas lignolíticas aisladas pertenece a este género.

Es necesario realizar una nueva selección de cepas a partir de las 51 obtenidas; se recomienda hacer siembra por punción asegurando datos más significativos referentes a la elección de microorganismos. Paralelamente, se deben utilizar pruebas cuantitativas para determinar la actividad enzimática, como la técnica de Somogyi Nelson (Rodríguez, 2000), el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico DNS (Miller, 1959), y ensayos de termoresistencia, antagonismo e identificación microbiana.

Este estudio preliminar permite la obtención y selección de microorganismos a partir de los cuales se puedan producir enzimas para la degradación de residuos que contengan lignina, celulosa o almidón. Esto con el fin de permitir el uso de residuos orgánicos y biomasa vegetal como materia prima para la obtención biotecnológica de productos como etanol y extractos vegetales de interés farmacéutico y cosmético, remplazos de los reactivos químicos utilizados en procesos de extracción e hidrólisis por una tecnología más amigable con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Allinge, N., Cava, M., & De Jongh, D. (1976). *Química orgánica*. España: Editorial Barcelona Reverté.
- Atlas, R., & Barton, R. (2005). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. España: Pearson Educación S. A.
- Cuamatzi, O. (2004). *Bioquímica de procesos metabólicos*. España: Editorial Barcelona Reverte.
- Dávila, G., & Vázquez-Duhalt, R. (2006). *Enzimas lignocelulolíticas fúngicas para fines ambientales*. Mensaje Bioquímico, pp. 29-55.
- Gaitán, D., & Pérez, L. (2007). *Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y compost generados en cultivo de crisantemo*. Tesis pregrado. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Lynd, L., Weimer, P., Zyl, H., & Preterius, I. (2002). Microbial cellulose utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 577-583.
- Miller, G. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 426-428.
- Montor, J. (2013). *Caracterización de amilasas producidas por bacterias de suelo cultivadas con caña de azúcar*. San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.
- Mora, L. C., & Zapata, H. V. (2006). Aislamiento y caracterización de microorganismos con actividad lipolítica provenientes de sedimentos del humedal El Jaboque. Bogotá, Colombia: *Acta Biológica Colombiana*, 11 (2), 109.
- Ortiz, M. (2009). Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Redalyc, 3 (2), 137-144.
- Pedroza, A., Matiz, A., Quevedo, B., & Aguirre, A. (2007). *Manual de introducción a la biotecnología*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodríguez, M. (2000). *Towards identifying biochemical markers for post harvest physiological deterioration in Cassava*. Ph.D. thesis. United Kingdom: University of Bath.
- Sánchez, C., Mejía, C., Figueroa, C., Esquivia, M., Agudelo, L., M, Z., y otros. (2005). Estudio de cepas nativas amilolíticas. *VITAE Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 12 (2), 21-28.
- Suescún, G., Bernal, J., & Martínez, P. (s. f.). *Degradación de benceno por microorganismos rizosféricos aislados de Limnobium laevigatum en el humedal La Conejera*. Bogotá-Colombia: Cuarto Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable.
- Teather, R., & P, W. (1982). Use of congo red-polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Applied Environmental Microbiology*, 43, 777-780.
- Vihinen, M., & P, M. (1989). Microbial amilolytic enzymes. *Biotech. Lab*, 329-418.

Extracción e identificación de microorganismos asociados al cultivo del ají (*Capsicum annuum*) en La Mesa (Cundinamarca)

Extraction and identification of pepper (*Capsicum annuum*) farming associate microorganisms at La Mesa (Cundinamarca)

Óscar Fradique Escobar Pardo, instructor agrícola SENA Girardot,
Programa Jóvenes Rurales Emprendedores
ofescobar3@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro de la Tecnología del Diseño y la Productividad Empresarial, Girardot
Regional Cundinamarca

FECHA DE RECEPCIÓN: 28 DE MARZO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 DE MAYO DE 2014

RESUMEN

Se realizó un experimento en condiciones de campo y laboratorio, con el objetivo de extraer e identificar microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají (*Capsicum annum*) en el municipio de La Mesa (Cundinamarca). Este proyecto constó de dos fases: extracción e identificación.

Durante el proceso de extracción de microorganismos se instalaron tres trampas de arroz previamente esterilizadas en tres plantas de ají sanas y en estado productivo (para un total de nueve trampas). Adicionalmente, se dejaron dos trampas de arroz (testigo absoluto) almacenadas a la sombra y sin usar, verificando periódicamente que ningún microorganismo creciera en ellas, para demostrar que el proceso de esterilización fue correcto. La colocación de las trampas fue al azar para cada planta. Se demostró que la metodología de extracción de microorganismos funciona adecuadamente y que adicionalmente es de fácil acceso para los agricultores.

Se encontraron cepas de los hongos *Trichoderma* sp. (microorganismo benéfico) y *Fusarium* sp. (patógeno facultativo). La cepa de *Trichoderma* sp. obtenida del municipio de La Mesa fue identificada por el Instituto de Genética de la Universidad Nacional de Colombia a través de un examen de ADN (ácido desoxirribonucleico). Esta investigación les permitirá a los agricultores del municipio de La Mesa la reproducción de un hongo benéfico para el sector agrícola, hongo adaptado a las condiciones de suelo (acidez, textura, humedad, entre otras) y clima (temperatura, precipitación, altitud, etc.) de este municipio.

Palabras clave: *Trichoderma*, *Fusarium*, agricultura orgánica, ají, *Capsicum annum*, antagonismo, microbiología, hongos benéficos.

ABSTRACT

It was an experiment conducted in laboratory and field conditions, with the aim to extract and identify beneficial microorganisms associated with the cultivation

of pepper (*Capsicum annuum*) in the town of La Mesa (Cundinamarca). This project consisted of two phases: extraction and identification.

During the extraction process of microorganisms, three previously sterilized rice traps were installed in three pepper plants healthy and productive state (for a total of 9 traps). Additionally, two traps rice (absolute control) stored in the shade and were left unused; periodically checking that no microorganisms grow on them to show that the sterilization process was correct. The setting of traps was randomized for each plant. It was demonstrated that microorganisms extraction methodology works properly and which is additionally easily accessible for farmers.

Strains of *Trichoderma* sp. fungi were found (beneficial microorganisms) and *Fusarium* sp. (optional pathogen). The strain of *Trichoderma* sp. obtained from the municipality of La Mesa was identified by the Institute of Genetics at the National University of Colombia through an examination of DNA (deoxyribonucleic acid). This research will allow farmers in the municipality of La Mesa playing a beneficial fungus for the agricultural sector, which is adapted to the soil conditions (acidity, texture, humidity, among others) and climate (temperature, precipitation, altitude, etc.) of this county.

Keywords: *Trichoderma*, *Fusarium*, Organic Agriculture, Pepper, *Capsicum annuum*, Antagonism, Microbiology, Beneficial Fungi.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ecosistema de enorme riqueza microbiana. Las bacterias, incluidos los actinomicetos, son los organismos más numerosos en el suelo, alcanzan poblaciones que varían entre 10^6 y 10^7 bacterias g^{-1} del suelo; mientras que los hongos, debido a su mayor tamaño aunque menor abundancia, tienen la biomasa más significativa en el suelo, representando un 10% a 20% de la microflora total (aproximadamente 10^5 a 10^6 organismos/g de suelo (Ogata *et al.* 2005).

Adicionalmente, los microorganismos del suelo juegan un papel importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este asocio permite, por una parte, aumentar el crecimiento y desarrollo de las plantas y, por otra, protegerlas contra otros organismos del suelo que pueden causar enfermedades. Esta asociación se define como mutualismo, en donde existe un beneficio recíproco entre el hospedero (planta) y el simbiote (microorganismo) (Hernández *et al.* 2003).

El conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una gran variedad de formas microbianas pueden desarrollarse activamente y en equilibrio (Pedraza *et al.* 2010). En la medida en que se incrementa la distancia desde la raíz, la disminución de la ri-

queza microbiana disminuye. Esta relación fue demostrada por Sylvia (2005), al relacionar el número de microorganismos por unidad de peso en el suelo de la rizósfera en comparación con los que se encuentran distantes de las raíces.

Por otra parte, investigaciones realizadas por Walker *et al.* (2003) demostraron que las plantas cuando están en sus estados iniciales de crecimiento envían hasta un 45% de los fotoasimilados a la rizósfera de la planta, dentro de los que se encuentran aminoácidos, ácidos orgánicos, azúcares, fenoles, polisacáridos y proteínas. Estos resultados permiten concluir que las plantas desde sus fases iniciales de crecimiento envían señales químicas de comunicación a sus superficies radiculares para establecer relaciones mutualistas o incluso patogénicas con microorganismos asociados a la rizósfera del suelo. No se puede establecer una distancia general para el efecto rizosférico del suelo, debido a que esta depende del estado metabólico de la planta y de la naturaleza del suelo. Sin embargo, la alta actividad biológica en la rizósfera se debe a la liberación de compuestos orgánicos como polisacáridos y aminoácidos por parte de las plantas. Por último, Grayston *et al.* (1998) demostraron que entre un 10% y un 45% del carbono asimilado por las plantas es liberado a la rizósfera; por lo tanto, las relaciones mutualistas entre plantas y

microorganismos se presentan en unas plantas más que en otras dependiendo del grado de evolución e interacción desarrollado a través del tiempo. El objetivo del presente estudio es extraer e identificar los microorganismos asociados a la rizósfera del suelo en plantas de ají, para determinar su interacción y asociaciones.

1. Marco conceptual

Se han reportado diversas enfermedades para el cultivo del ají, dentro de las cuales las más limitantes son la mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatoria*), el añublo polvoriento del pimiento (*Oidium* sp.), el tizón del pimiento (*Phytophthora capsici*), mancha por *Cercosopora* sp., *Fusarium oxysporum* y antracnosis (*Colletotrichum* sp.), entre otras. El uso de microorganismos benéficos ha reportado diversos efectos antagónicos usando *Trichoderma harzianum* y *Pseudomonas fluorescens* contra enfermedades asociadas al cultivo del ají (Cubillos, 2009).

Debido a este hecho se ha despertado el interés desde hace más de una década en la extracción, identificación y multiplicación de microorganismos que no solo limiten poblaciones de patógenos en cultivos agrícolas, sino que incluso estimulen el desarrollo de las plantas para mejorar en últimas el rendimiento de los cultivos.

Chiuminatto (2000) demostró que el uso de *Trichoderma harzianum* en una concentración de 10^6 conidias/ml presentó una considerable sobrevivencia de plantas de ají que fueron inoculadas con *Phytophthora capsici* Leonian, enfermedad limitante para el desarrollo del cultivo del ají.

Peldoza (2005) evaluó tres cepas de *Trichoderma harzianum* que fueron aplicadas en el cultivo del pimentón (perteneciente al género del ají), y evaluó dos diferentes dosis de riego en donde se inocularon diferentes concentraciones de *Trichoderma* sp. para evaluar la efectividad de este microorganismo como biocontrolador de la mortandad de plantas en almácigo por la enfermedad denominada *dumping off* en almácigos, causada por *Phytophthora capsici*. Peldoza estimó que la frecuencia de aplicación en el riego de *Trichoderma* sp. en los almácigos es de cada días para disminuir la incidencia de esta enfermedad.

Sin embargo, no todos los efectos de la aplicación de microorganismos benéficos asociados a cultivos agrícolas están relacionados con el control de patógenos. Cubillos (2008) comparó dos cepas de *Trichoderma*, una comercial y otra extraída de un cultivo de maracuyá, y encontró que aunque ambas son promotoras del crecimiento vegetativo en plantas de maracuyá, las plántulas que fueron tratadas

con cepas nativas lograron un mayor crecimiento no solo vegetativo, sino de raíces.

Por último, existen múltiples microorganismos (bacterias y hongos) benéficos asociados a cultivos agrícolas, como *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*. Sin embargo, el género de los hongos de *Trichoderma* ha demostrado no solo un estímulo en el crecimiento vegetal, sino un efectivo control de patógenos del suelo.

Debido a que el ají reporta múltiples limitantes para el crecimiento y desarrollo en suelos arcillosos y ácidos, como los del municipio de La Mesa, debido en parte a las condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades del suelo, la extracción e identificación de microorganismos nativos benéficos del municipio de La Mesa representa una excelente oportunidad para contrarrestar los efectos negativos de enfermedades asociadas al cultivo del ají en este municipio.

2. Materiales y métodos

Con el objetivo de responder a la pregunta de investigación sobre cuáles son los microorganismos benéficos asociados al cultivo de ají (*Capsicum annuum*) en el municipio de La mesa, se trazaron dos objetivos específicos para desarrollar la investigación:

1. Extraer microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají.
2. Identificar los microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají.

Metodología objetivo 1. Extraer microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají

Área de estudio. El experimento se desarrolló en el municipio de La Mesa (Cundinamarca), vereda Payacal, finca El Mirador, con coordenadas geográficas 4°40'12" de latitud norte y 74°24'27" de longitud oeste, donde se cuenta con un cultivo de ají picante variedad chivato.

Esterilización de trampas extractoras de microorganismos. Las trampas fueron frascos de vidrio grueso con 15 g de arroz en su interior. El arroz sirve como fuente de carbohidratos donde los hongos son capturados. La esterilización de las trampas se obtiene al introducir los frascos con arroz en una olla exprés. Se pone a calentar al baño de María hasta que pite por primera vez; a partir de ese momento se deja en bajo durante media hora. Esta técnica es descrita por Cuervo (2003), quien extrajo microorganismos durante ocho años con comunidades indígenas de la región del Valle utilizando mecanismos sencillos y logrando efectividad en sus resultados, basado en principios científicos que en este caso para

la esterilización usa altas temperaturas y altas presiones simulando autoclaves en laboratorios de investigación (ver Anexo 1. Trampa de arroz instalada).

Establecimiento del experimento.

Para el establecimiento del experimento se seleccionaron de manera aleatoria tres plantas de ají en un estado óptimo de producción, a las que se les colocaron tres trampas extractoras de microorganismos por planta previamente esterilizadas. Adicionalmente, se esterilizaron dos trampas más, que no fueron llevadas a campo, se mantuvieron tapadas, sirvieron como trampas testigo o

control para evidenciar que el proceso de esterilización fue adecuado y que los microorganismos extraídos evidentemente provinieran de la rizósfera de las plantas de ají. Las trampas extraídas fueron colocadas de manera aleatoria basados en la aplicación gratuita Random Number®. En total, se colocaron nueve trampas con dos trampas testigo. Estas trampas se colocaron a 25 cm del tallo principal de las plantas de ají y a 2 cm de profundidad durante tres semanas, tiempo durante el cual se capturaron los microorganismos y posteriormente fueron llevados a laboratorio para su respectiva identificación.

Figura 1. Esquema del diseño del experimento en tres plantas de ají con tres trampas por planta



Metodología objetivo 2. Identificar los microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají

Preparación de medios de cultivo.

Las trampas de arroz fueron llevadas al laboratorio de biotecnología del SENA Tecnoparque de Soacha, nodo Cazucá, en donde se prepararon

medios de cultivo con PDA (*potato dextrose agar*), que es un medio de cultivo que estimula el crecimiento de hongos según Cañedo (2004), en 18 cajas de petri. Estas cajas se esterilizaron en la autoclave del laboratorio para garantizar inocuidad en los medios (ver Anexo 2. Preparación de medios).

Aislamiento de hongos. De cada trampa extraída se inocularon dos medios de cultivo de PDA para un total de 18, donde se analizaron los crecimientos miceliales basados en el color, forma, antagonismos, estructuras morfológicas, septos, etc. Posteriormente de cada micelio representativo se colocó en un medio de PDA un segmento o parte de micelio para estimular su crecimiento micelial de manera pura y poder identificarlo por medio de microscopía. Como medios de PDA testigo también se inocularon cuatro cajas de petri con *Trichoderma* comercial, para que en caso de que se extrajera *Trichoderma* nativo se pudiesen comparar las estructuras morfológicas de los hongos por medio de microscopía. Estas cajas se mantuvieron guardadas a temperatura ambiente durante 15 días.

Identificación de microorganismos. Posteriormente, a los 15 días, se identificaron las características de los micelios purificados por medio de un microscopio compuesto utilizando técnicas de tinción y contraste de fases.

3. Resultados y discusión

Para abordar los resultados y discusión se separan de igual manera que en materiales y métodos los resultados en los dos objetivos de investigación propuestos.

3.1 Resultados y discusión

Objetivo 1. Extraer microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají

Esterilización y extracción de trampas de arroz. Quince días después de colocadas, las trampas de arroz ubicadas en las plantas de ají empezaron a mostrar crecimientos de micelio en su interior, en donde se pudieron observar hongos y bacterias. Adicionalmente, las dos trampas de arroz esterilizadas que sirvieron como testigo del proceso y que no se colocaron en campo duraron cinco semanas sin ningún tipo de crecimiento de microorganismos. Finalmente, de las dos trampas de arroz, una se secó sin crecimiento visual de microorganismos y en la otra hubo crecimiento de bacterias después de la quinta semana. Esto permite concluir que la metodología sugerida por Cuervo (2003) es efectiva, permite extraer microorganismos, siempre y cuando se realice el proceso de esterilización adecuado. Adicionalmente, es una metodología accesible para el agricultor, debido a que en la mayoría de las fincas se cuenta con olla exprés, frascos de vidrio y arroz. Por lo tanto, se sugiere hacer énfasis en capacitaciones técnicas que permitan, de una manera sencilla, brindarle una herramienta de diagnóstico al agricultor en cuanto a los microorganismos del suelo de su sistema productivo.

Las trampas de arroz evidenciaron crecimiento de micelios de todo tipo, con coloraciones pardas, amarillentas, rojizas y verdes principalmente (Anexo 3. Trampas de arroz con microorganismos).

Por otra parte, en suelos en donde la carencia de materia orgánica es alta, la extracción de microorganismos por medio de las trampas de arroz es muy baja. En este experimento se pudo constatar que a los 15 días las trampas de arroz habían ocupado la totalidad de la superficie expuesta del arroz y estaban colonizando su interior, lo que permitiría evidenciar un alto contenido de materia orgánica y altas poblaciones microbianas ligadas a la descomposición de esta. El factor del tiempo en captura de microorganismos con trampa de arroz es un indicativo del contenido de la materia orgánica y por lo tanto de sus poblaciones de microorganismos.

3.2 Resultados y discusión

Objetivo 2. Identificar los microorganismos benéficos asociados al cultivo del ají

Aislamiento de microorganismos. Se realizó como primera medida una identificación tentativa del género de los hongos presentes en las trampas de arroz con base en el color de los micelios. Este pro-

ceso se llevó a cabo con base en el primer y segundo hongo más representativo de cada trampa en cuanto a colonización de área. De esta manera se lograron contabilizar visualmente cuatro posibles micelios de *Fusarium* sp., cinco posibles micelios de *Trichoderma* sp. y nueve de hongos mucorales. De igual forma, se encontró un crecimiento bacterial en seis de las 18 trampas de arroz.

Purificación de las cepas. De los 18 micelios seleccionados, nueve se aislaron y purificaron debido a que presentaban un interés ya sea por ser posibles microorganismos benéficos o patogénicos. Los otros nueve hongos se descartaron debido a que pertenecían al orden de los mucorales, donde se pueden encontrar hongos del género *Rhizopus* sp., *Absidia* sp., *Gongronella* sp. y 18 géneros más (Torres *et al.* 2007). Dentro de este orden de hongos encontramos los principales descomponedores de la materia orgánica, debido a que sus esporas se encuentran casi siempre en la atmósfera. Normalmente se encuentran en climas cálidos y húmedos como el del municipio de La Mesa (Cundinamarca). Su micelio se caracteriza por ser una masa blanda, blanquecina y algodonosa. Por esta razón, se puede deducir que el suelo de donde se extrajeron los microorganismos asociados al cultivo del ají cuenta en su mayoría con hongos descomponedores de la materia orgánica, lo que aunque

no genera un beneficio directo hacia las plantas, sí presenta un beneficio indirecto al descomponer materia orgánica desdoblándola en moléculas más simples que las plantas tomarán posteriormente como elementos nutritivos para su crecimiento y desarrollo. Por otra parte, no se encuentra ninguna evidencia de que el orden Mucorales genere síntomas de enfermedades en el cultivo del ají. Por lo tanto, debido a que este orden de hongos no es ni benéfico ni patogénico, se descarta para aislamiento y purificación.

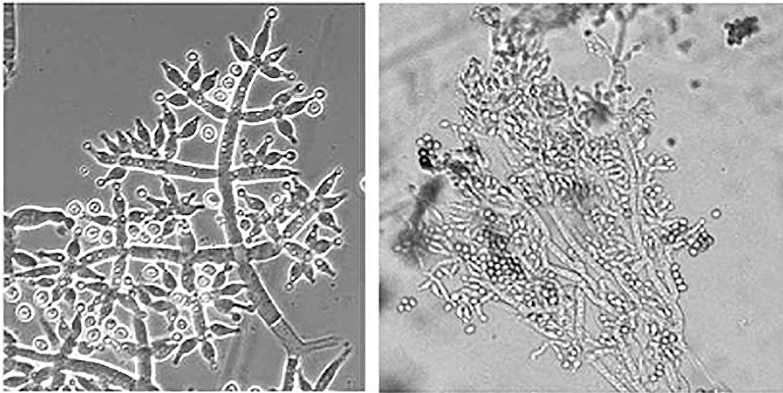
En relación con los nueve micelios restantes, se aislaron en cajas de petri con PDA para su purificación e identificación por medio de microscopía electrónica (ver Anexo 4. Cepas de hongos purificados).

Identificación de microorganismos. Para la identificación de microorganismos purificados se realizaron montajes en láminas de vidrio que fueron observadas por medio de microscopio electrónico con cámara que fue facilitado por el Tecnoparque de Soacha, nodo Cazucá. Adicionalmente, se describió morfológicamente el hongo y se compararon sus estructuras

con las de hongos de otros centros de investigación.

a. Microorganismos benéficos. El primer microorganismo identificado como benéfico para el cultivo del ají fue del género *Trichoderma*. Según Arias *et al.* (2000), el color de las colonias de *Trichoderma* sp. varía entre verde blanquecino y verde o verde amarillento; al contrario de la colonia, no presenta ninguna coloración. Este género se caracteriza por crecer de manera rápida: alcanza hasta 9 cm de diámetro en tan solo cinco días a 20 °C (ver Anexo 5. Micelio de *Trichoderma* aislado de planta de ají). A nivel de microscopía, Arias (2000) reporta que el *Trichoderma* sp. presenta hifas septadas, ramificadas y sus paredes son lisas, dentro de las que se pueden encontrar algunas clamidosporas. Sus fialides terminan en un ápice atenuado y un cuello cónico. En la Figura 2 se pueden observar dichas estructuras y se compara la cepa de *Trichoderma* obtenida por la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador con la obtenida por el SENA en el Tecnoparque de Soacha, nodo Cazucá.

Figura 2. Comparación entre la cepa de *Trichoderma* (izquierda) obtenida por la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador y la obtenida por el SENA en el Tecnoparque de Soacha, nodo Cazucá (derecha)



Aunque el microscopio empleado no cuenta con una resolución tan nítida como la imagen comparativa, se pueden evidenciar claramente las mismas estructuras morfológicas del género *Trichoderma* escritas por Arias (2000). Las filalides terminan en un ápice atenuado y poseen un cuello cónico, sus hifas son septadas y ramificadas y existe presencia de múltiples conidióforos. Adicionalmente, el color del micelio y comportamiento corresponden a la descripción del género *Trichoderma*.

Basados en el color, forma, estructuras reproductivas, hifas y conidias del micelio extraído que se comparó con otras especies de *Trichoderma* sp. tanto del testigo comercial como del de otras universidades, se puede concluir que se extrajo un hongo del género *Trichoderma*. Esta cepa extraída del municipio de La Mesa, aunque cuenta con la morfología típica del

género *Trichoderma*, se diferencia en la longitud de los septos entre las hifas y ramificaciones más alargadas, lo que podría generar una especificidad propia del municipio de La Mesa para este género susceptible de patente para su comercialización.

b. Microorganismos patogénicos.

Dentro de los microorganismos identificados se encontró un patógeno asociado al cultivo del ají (*Capsicum annum*) causal del marchitamiento del ají denominado *Fusarium* sp. Este hallazgo concuerda con las investigaciones obtenidas por Yousaf (2007), quien demostró el efecto patogénico que causa el microorganismo *Fusarium oxysporum* en plantas de ají (*Capsicum annum* L.).

Aunque el *Fusarium* sp. es un hongo causal del marchitamiento

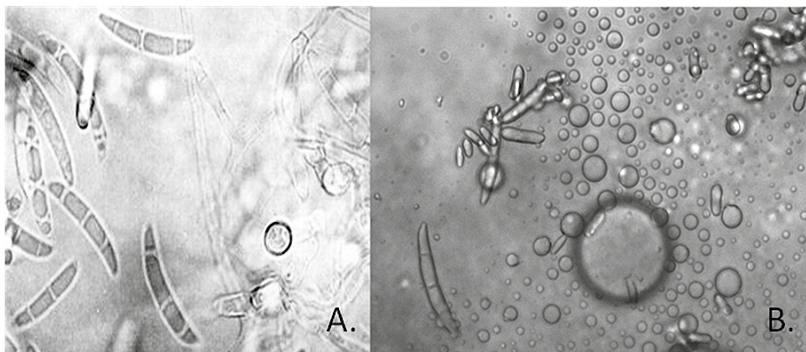
del ají, también se reporta por Garcés (2001) como un hongo facultativo, es decir, puede ser saprofita (se alimenta de la materia orgánica sin causar daño a las plantas) o en caso de no haber materia orgánica puede infectar las plantas causando su muerte.

Para el caso del *Fusarium* sp. aislado del municipio de La Mesa se determinó que, al igual que los resultados obtenidos por Garcés (2001), aunque se encuentra en las trampas de arroz, las plantas de ají no demuestran ninguna sintomatología evidente que permita demostrar que se está desarrollando como patógeno.

Sempere *et al.* (2004) caracterizaron morfológicamente al *Fu-*

sarium culmorum identificando a este género como un hongo que presenta un micelio blanco y rojizo y en el envés colores púrpuras y ocres. Las macroconidias características del *Fusarium* tienen forma de banana con septos que lo pueden dividir de tres a siete septos. El aislamiento obtenido presentó un crecimiento rojizo del micelio, y las ascosporas identificadas por microscopia identifican al *Fusarium* sp. dentro de las trampas de arroz (ver Figura 3. Ascosporas características del *Fusarium* sp.); sin embargo, lo que se destaca en este crecimiento es que existe un hongo adicional que limita el crecimiento del *Fusarium*, es decir, que posiblemente existe un hongo controlador o antagonista del *Fusarium* sp.

Figura 3. Ascosporas características de *Fusarium* sp. A. Ascosporas de *Fusarium solani* f. *arracaciae*. CDP. B. Ascosporas de *Fusarium* sp. encontradas en ají, municipio de La Mesa. Vista a 40 X.



Para el caso de las plantas de ají de donde se extrajeron los microorganismos asociados a esta

planta, se encontró una abundante cantidad de materia orgánica, razón por la cual se puede

inferir que el *Fusarium* sp. no se expresa en estas plantas, primero, porque existe un microorganismo que controla su crecimiento y, segundo, porque el *Fusarium* sp. al habitar en un ambiente con alto contenido de materia orgánica no ve la necesidad de convertirse en patógeno por carencia de alimento.

Certificado de obtentor de cepas.

Aunque visual y morfológicamente se comprobó que el microorganismo benéfico extraído de plantas de ají fue una cepa del hongo del género *Trichoderma* sp. que está adaptada a los suelos pesados y a precipitaciones continuas características del municipio de La Mesa, se solicitó un examen de ADN por medio de secuenciación de nucleótidos en el Instituto de Genética de la Universidad Nacional de Colombia. Con este resultado se puede solicitar ante el ICA el registro ICA como comercializador de este bioinsumo para la producción agrícola. Por lo tanto, además de corroborar visual y morfológicamente que el microorganismo benéfico está asociado al cultivo del ají, se confirmó por medio de examen de ADN con miras a lograr el registro ICA para comercializar esta cepa y conformar una unidad productiva de comercialización de bioinsumos nativos del municipio de La Mesa (Cundinamarca) que la cepa extraída pertenece al género de *Trichoderma*.

4. Conclusiones

La metodología de extracción de microorganismos del suelo propuesta en este trabajo, además de ser una metodología confiable, le permite al agricultor acceder a una herramienta de bajo costo que le facilita evidenciar de manera rápida y sencilla la riqueza microbiana de su suelo.

La extracción de cepas benéficas nativas les permite a los agricultores contar con microorganismos que pueden desarrollar todo su potencial, debido a que ya están adaptados a las condiciones agroclimáticas de la región donde son extraídos.

El aislamiento de *Trichoderma* sp. extraído del municipio de La Mesa es el hallazgo de un microorganismo benéfico que además de estar asociado al cultivo del ají está adaptado a las características del suelo y clima en el municipio de La Mesa vereda Payacal.

La presencia de materia orgánica es un factor que disminuye la posible incidencia y severidad del *Fusarium* sp. en el cultivo del ají, debido a su carácter facultativo; el *Fusarium* sp. prefiere consumir materia orgánica que desarrollar la enfermedad en las plantas.

La presencia de un alto contenido de materia orgánica permite el

desarrollo de múltiples microorganismos que pueden ejercer un control efectivo contra enfermedades, como marchitamiento vascular, causado por el *Fusarium sp.*

El trabajo en conjunto con el Tecnoparque de Cazucá y el SENA de Girardot permite a los aprendices del SENA, además de solucionar problemas limitantes en la producción agrícola, tener acceso a bioinsumos que al contar con registros ICA de comercialización hace factible la conformación de unidades productivas que además de usar los bioinsumos en su propia producción permitan comercializar bioinsumos adaptados a las condiciones de su propia región.

5. Agradecimientos

Un especial agradecimiento al personal técnico del Tecnoparque de Soacha, nodo Cazucá, en especial a las doctoras Nelly Lozano y Sonia Barbosa por su continuo acompañamiento en el desarrollo de este proyecto de investigación. Gracias por abrir las puertas a la investigación agrícola. A los agricultores de la vereda Payacal del municipio de La Mesa, un agradecimiento especial por hacerme parte de su familia durante el desarrollo de esta investigación.

Anexo 1. Trampa de arroz instalada



Anexo 2. Preparación de medios de cultivo



Anexo 3. Trampas de arroz con microorganismos



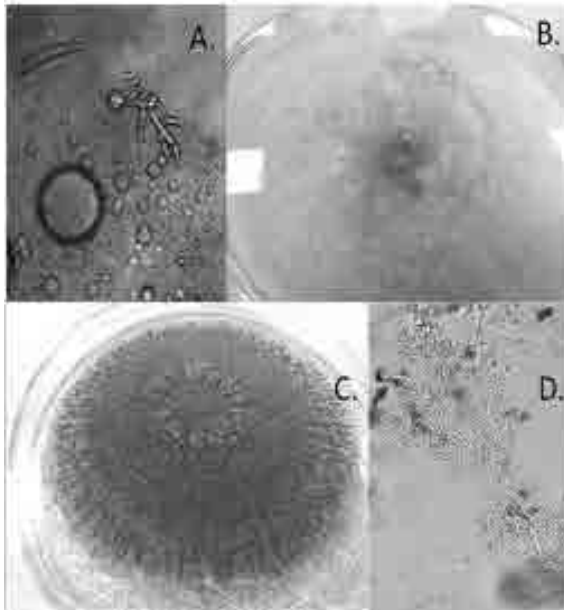
Anexo 4. Cepas purificadas de hongos



Anexo 5. Micelio de *trichoderma* aislado de planta de ají



ANEXO 6. Microorganismos aislados e identificados



A) Ascosporas de *Fusarium* sp. B) Crecimiento micelial de *Fusarium* sp. controlado por un hongo antagónico. C) Crecimiento micelial de *Trichoderma* sp. D) Morfología de *Trichoderma*.

REFERENCIAS

- Arias H. Jazmín, Barbosa C. Sonia, Quicazan R. Elsa (2000). *Estudio histológico de raíz y tallo de Phaseolus vulgaris después de la inoculación de dos hongos patógenos y dos antagonistas*. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología.
- Cañedo Verónica, Ames Teresa (s. f.). *Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatogenos*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Carmona, Iris (2013). Situación global de especias y condimentos: Una oportunidad para el ají procesado picante. *Agrimundo* (Inteligencia competitiva para el sector agroalimentario).
- Chiuminatto Alcántara, Rodrigo (2003). *Efectividad del uso de Trichoderma harzianum en el control de Phytophthora capsici Leonian, en ají (Capsicum annum L. var Lognum (DC) Dendt) en la Region del Maule*. Chile: Universidad de Talca, Escuela de Agronomía.
- Cubillos Hinojosa, Juan (2008). *Trichoderma harzianum como promotor de crecimiento vegetal de maracuyá (Passiflora edulis var. flavicarpa degener)*. Valledupar. Colombia: Universidad Popular del Cesar.
- Cuervo, Jairo (2014). *Memorias del curso de maestría en fertilizantes biológicos*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Agronomía.
- Grayston, S. J., Shenquiang, W., Campbell, C. D., Edwards, A. C. (1998). Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biology & Biochemistry*.
- Hernández Montiel, Luis G., Escalona Aguilar, Miguel A. (2003). Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. Universidad de Veracruz. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica* vol. XVI (1).
- Ogata Katiy, Zúñiga Doris (2005). *Estudio de la microflora de la rizosfera de Caesalpinia spinosa en la provincia de Huanuco*. Universidad Nacional Agraria. Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología. Departamento de Biología.
- Peldoza Bravo, María José. *Evaluación de tres cepas nativas de Trichoderma spp. En el control de la caída de plántulas en almácigos de pimentón (Capsicum annum) cv. Fyuco*.
- Salazar Sosa, Enrique (2003). *Agricultura orgánica*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED.

Sempere F., García F., Santamarina M. P. (2004). *Caracterización morfológica y cultural de Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Universidad Politécnica de Valencia.

Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G. & Zuberer, D. A. (2005). *Principles and Applications of Soil Microbiology*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

Torres-Narbona M., Guinea J., Muñoz P. Bouza E. (2007). *Zigomicetos y zigomicosis en la era de las nuevas terapias antifúngicas*. Madrid, España: Universidad Complutense.

Yousaf Sahi, Irfan. Khalid A. N. (2007). *In vitro biological of Fusarium oxysporum causing wilt in Capsicum annuum*. Pakistan: Department of Botany, university of the Punjab.

PARÁMETROS PARA PUBLICAR EN LA REVISTA SENNOVA

La *Revista SENNOVA* es una publicación del Sistema de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA para fortalecer y visibilizar la investigación en Colombia. Se propone publicar artículos de alta calidad científica para promover y divulgar los resultados de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación enfocados hacia la industria, con el fin de establecer un intercambio científico activo a nivel local, regional y global. Cuenta con un sistema de evaluación a ciegas conformado por expertos académicos e investigadores de trayectoria en el campo de estudio de la investigación. Todos los manuscritos serán leídos por el equipo editorial para su aprobación.

1. Los artículos remitidos deben ser inéditos, originales, escritos en español o en inglés (con su respectiva traducción) y no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista ni en medios digitales.
2. Es indispensable que los autores indiquen si su artículo es producto o desarrollo de una investigación en curso o concluida. Se debe incluir en una nota a pie de página el nombre del proyecto, las fechas en que se inició y terminó, la entidad que lo financió y ejecutó.
3. Para su publicación, los artículos deben ser enviados en las fechas establecidas dentro del cronograma del proceso de edición, y la recepción de los artículos se hará con el rigor de estas fechas.
4. Los artículos serán enviados al correo electrónico revistainnovacion@sena.edu.co
5. El proceso de producción editorial iniciará cuando los artículos cumplan con las características de entrega y presentación de documentos incluidas en este documento.
6. El autor o los autores deben presentar el artículo original en formato digital, o enviarlo por correo electrónico en una versión reciente de Microsoft Word, en tamaño carta, por una sola cara, a espacio doble y en letra Arial de 12 puntos.
7. Cada página debe estar foliada.
8. Debe contener:
 - a) Título en español.
 - b) Título en inglés.

- c) Nombre de los autores: grupo de investigación al que pertenecen, ocupación actual y correo electrónico.
 - d) Resumen en español (máximo 700 caracteres).
 - e) Palabras clave.
 - f) Abstract.
 - g) Keywords.
 - h) Introducción.
 - i) Marco conceptual.
 - j) Metodología o materiales y métodos.
 - k) Resultados y discusión.
 - l) Conclusiones y/o recomendaciones.
 - m.) Referencias bibliográficas.
9. Imágenes, gráficos y tablas. En caso de contener mapas, cuadros, tablas, fórmulas o ilustraciones, estos deben estar claramente descritos, y en orden, en los programas originales o en los formatos gráficos: jpg, tiff o bmp, con resolución de 300 dpi (*dots per inch* -puntos por pulgada-).
10. En el caso de tratarse de cuadros, tablas o gráficos de elaboración propia, es indispensable presentarlos en formato editable (por ejemplo, en programa Excel) y en alta resolución.
11. La información de texto, gráficos e imágenes debe contener la correspondiente autorización para su publicación.
12. Cada tabla, cuadro, figura o imagen debe llevar una leyenda que describa con claridad el material presentado y la fuente en metodología APA si procede de una distinta al autor o los autores.
13. En caso de ser necesario, se deben anexar los permisos para la reproducción de tablas, cuadros, figuras e imágenes que estén protegidos por el derecho de autor.
14. Los artículos de la revista de investigación utilizarán el sistema de referencias APA en su última versión.
15. En algunos casos, podrán aceptar el artículo con algunas modificaciones o podrán sugerir la forma más adecuada para su presentación.
16. El artículo definitivo se remite al autor o a los autores para la aprobación de su versión final.
17. Serán sometidos a una evaluación del comité editorial y de árbitros expertos mediante el sistema de evaluación a ciegas.

18. En algunos casos podrán aceptar el artículo con algunas modificaciones o podrán sugerir la forma más adecuada para su presentación.
19. El artículo definitivo se remite al autor o a los autores para la aprobación de su versión final.
20. La aceptación o el rechazo para la publicación de cada artículo será notificado al autor o a los autores por correo, quienes conocerán el concepto de los árbitros que los evaluaron.
21. En caso de ser aceptado el artículo, el autor o los autores deben firmar un formato de cesión de derechos patrimoniales.
22. El autor o los autores recibirán un ejemplar de la publicación en el que esté impreso su artículo.

Tipos de artículos

- A) Artículos científicos terminados que muestren resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.
- B) Artículos de reflexión que presenten resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor.
- C) Artículos de revisión que analicen, sistematicen e integren los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo.
- D) Artículos cortos que presenten resultados originales, preliminares o parciales de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico. cinco páginas.
- E) Reportes de casos exitosos que presenten los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas de la investigación aplicada, la innovación y el desarrollo tecnológico.
- F) Artículos que revisen un tema como resultado del escrutinio crítico de literatura sobre investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.
- G) Traducción de textos clásicos o de actualidad que traten la investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.
- H) Reseñas bibliográficas que aborden la presentación y reflexión sobre una publicación sobre la investigación aplicada, la innovación y el desarrollo tecnológico.

PUBLISHING PARAMETERS FOR REVISTA SENNOVA

Revista SENNOVA is a publication from the SENA Strategic Management System for Research, Technological Development and Innovation pretended to strengthen and visualize research in Colombia. Its purpose is to publish high-quality scientific papers in order to promote and divulge applied research, technological development and innovation results focused on national industry, which will establish a local, regional, and global active scientific exchange. Several academic experts, and researchers form it with impeccable career paths in the research study field. The editorial team for approval will read all the manuscripts.

1. The sent articles must be unpublished, original, written in either Spanish or English (with its due translation), and unpublished before or simultaneously in another magazine or digital media.
2. It is fundamental for the authors to point if the paper is result or development of a current or finished research. It must include as well a footnote with the name of the project, its start and finish dates, and the institution that financed and executed the project.
3. In order to be published, the articles must be sent within the appointed dates, which will be strictly followed for the documents receipt and editing process.
4. The articles must be forwarded to the following email: revis-tainnovacion@sena.edu.co
5. The editing process will begin as soon as the selected papers fulfill the delivery and presentation requirements included in the present document.
6. The author or authors must send the original article in digital format, or forward it by email in a recent version of Microsoft Windows, on letter size pages, single-sided, double-spaced, and Arial font 12 points.
7. Every page must be numbered.
8. Every article must include:
 - a) Title in Spanish.
 - b) Title in English.
 - c) Name of the authors: research field it belongs to, current job, and e-mail.
 - d) Abstract in Spanish (700 characters maximum).
 - e) Keywords in Spanish.

- f) Abstract.
 - g) Keywords.
 - h) Introduction.
 - i) Conceptual framework.
 - j) Methodology or methods.
 - k) Results and discussion.
 - l) Conclusions and/or recommendations.
 - m) Bibliographic references
9. Images, graphics, and data tables. In case of including maps, charts, data tables, formulas or illustrations, these must be clearly explained and organized in the original programs or graphic formats: jpg, tiff or bmp, in 300 dpi resolution.
 10. In case of including self-elaborated charts, data tables or graphics, it is fundamental to present them in an editable format (such as Excel), and in high resolution.
 11. The textual information, graphics, and images must contain due authorization for publishing.
 12. Every data table, chart, figure or image must include a text, which describes clearly the presented material and APA methodology, in case it proceeds from a different methodology to that of the author or authors.
 13. If necessary, permission for data tables, charts, figures, and images must be added in order not to infringe copyright.
 14. The articles included in the research magazine will use the latest version of the APA reference system.
 15. In specific situations, the article may be approved with slight modifications or may suggest a more proper way to present it.
 16. The final article will be sent to the author or authors for final approval.
 17. The articles will go through examination by the editorial committee and expert evaluators without any knowledge of the authors.
 18. The approval or rejection of the publishing will be duly notified to the author or authors via e-mail, and so will know the evaluators' decision.
 19. If approved, the author or authors must sign a transfer of ownership form.
 20. The author or authors will receive a printed copy once published.

Types of articles

- l) Finished scientific articles that present the results of a finished applied research, innovation,

- and technological development.
- J) Reflection articles, which present the results of a finished applied research, innovation, and technological development from an analytic, interpretative, or critic perspective of the author.
 - K) Review articles that analyze, structure, and integrate result of previous investigations, published or unpublished, about applied research, innovation, and technological development, in order to account for development advances and tendencies.
 - L) Short articles, which present original results, preliminary or partial, of a finished applied research, innovation, and technological development. Maximum five pages.
 - M) Successful cases report which present study results over a particular situation, in order to show technical and methodological experiences of applied research, innovation, and technological development.
 - N) Articles, which review a topic as result of thorough examination of the literature on, applied research, innovation, and technological development.
 - O) Translation of classical or current texts on applied research, innovation, and technological development.
 - P) Bibliographical reviews on presentation and reflection of applied research, innovation, and technological development publishing.

Producción pecuaria

Determinación de destete óptimo en lechones (*Sus scrofa domesticus*),
en la Unidad Porcícola del Centro Agropecuario de Buga
A. Riascos, C. Orozco, D. Losada

Efecto de dos diluyentes a base de lecitina de soya
sobre parámetros morfométricos en semen caprino
L. Hernández, J. Dorado, A. Quintero, I. Ortiz, A. Buzón, M. Corzo, M. Hidalgo

Agroindustria

Optimización simultánea en filtros rotatorios al vacío para
reducción del contenido de sacarosa y humedad en cachaza
E. Narváez, L. Vinazco, G. Torres, J. Guerrero

Fuentes de variación que tienen efecto sobre los atributos sensoriales
de taza en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia
E. Rodríguez, J. Suárez, G. Vega

Las TIC aplicadas a la industria

Desarrollo de una herramienta en Matlab para sintonización de controladores
PID utilizando algoritmos genéticos basado en técnicas de optimización multiobjetivo
B. Acevedo, J. Fonseca, J. Gómez

Mecánica

Diseño y construcción de una herramienta manual para corte
de tallos maderosos en la industria floricultora de la sabana de Bogotá
G. Castillo

Desarrollo de un dispositivo de parada súbita para procesos de taladrado
R. Bertrand, B. Sbravati, D. Neira

Industria y biotecnología

Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celulolíticos
y lignolíticos a partir del suelo de humedales de Bogotá
S. Buitrago, E. Sánchez, H. Guerrero

Extracción e identificación de microorganismos asociados al cultivo
del ají (*Capsicum annum*) en La Mesa, Cundinamarca
Ó. Escobar