

Publicaciones e Investigación

UNAD
Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

ISSN 1900-6608

Indizada en PUBLINDEX C

Revista Especializada en Ingeniería
Journal specializing in engineering



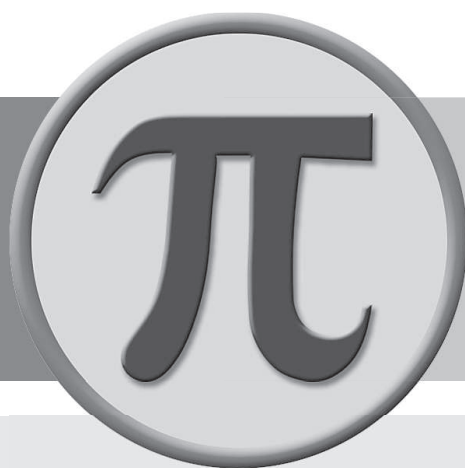
Volúmen 10

Enero - Diciembre 2016 Ejemplares: 300

Bogotá, Colombia. 2016

Volúmen 10

PUBLICACIONES E INVESTIGACIÓN



**REVISTA ESPECIALIZADA
EN INGENIERÍA**

Vol. 10 2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA A DISTANCIA-UNAD.
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA 2016**

REVISTA PUBLICACIONES E INVESTIGACIÓN

Revista Especializada en Ingeniería
Magazine Specialized in Engineering

Rector

Jaime Alberto Leal Afanador

Vicerrectora Académica y de Investigaciones
Constanza Abadía García

Vicerrectora Medios y Mediaciones Pedagógicas
Leonardo Yunda Perlaza

**Vicerrector de Servicios a Aspirantes,
Estudiantes y Egresados**
Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

**Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Social**
Leonardo Sánchez Torres

**Decano Escuela de Ciencias Básicas,
Tecnología e Ingeniería**
Claudio Camilo González Clavijo

**Decana Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente**
Julialba Ángel Osorio

**Decana Escuela de Ciencias Sociales,
Artes y Humanidades**
Sandra Milena Morales Mantilla

Decana Escuela de Ciencias de la Educación
Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

**Decano Escuela de Ciencias Administrativas,
Contables, Económicas y de Negocios**
Gonzalo Eduardo Jiménez Bermúdez

Escuela de Ciencias de la Salud+
Myriam Leonor Torres P.

Editora

Nelly Morales Pedraza

Comité Editorial

Ph.D. Jesús Alfonso Torres Ortega – Unisalle
Ph.D. Rodrigo Ortega Toro. U. Politécnica de Valencia –
Valencia - España
Ph.D. Oscar Yesid Suarez – Unal. Bogotá - Colombia
Ph.D. Martha Cuenca Quicazan - IU. Libera Bolzano. Italia
Ph.D. Carlos Mario Zuluaga D. Uniagraria - Bogotá- Colombia
Ph.D.(c). Sofía Collazo Bigliardi - U. Politecnica de Valencia –
Valencia. España

Comité Científico Internacional

PhD. Carlos Alberto Gasparetto - Fances. Brasil PhD.
María Isabel Rodrigues- Unicamp. Brasil PhD.
Lorudes Zumalacárregui - Cujae. Cuba PhD.
Francisco Maugerl Filho - Unicamp. Brasil

Diagramación y Diseño de portada

Hernán Vásquez Giraldo

Política Editorial

La Revista Especializada en Ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, tiene una periodicidad de publicación anual (enero-diciembre); divulga artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las áreas de la Ingeniería. Los artículos deben ser inéditos y las opiniones expresadas en ellos son responsabilidad única de los autores. La reproducción total o parcial sin fines comerciales, se autoriza si se indica claramente la fuente: publicaciones e investigación <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion> y debe ser usado en bibliografías, leyendas, notas al pie y referencias.

CONTENIDO



Editorial

Nelly Morales Pedraza 7

Residuos piscícolas a ensilaje biológico: evaluación fisicoquímica

From fish waste to biological silage: physico-Chemical evaluation

Rodrigo Ortega-Toro, José Luis Hoyos Concha 13

Drones aplicados a la agricultura de precisión

Drones applied to the precision agriculture

Adrián González, Gelberth Amarillo, Milton Amarillo, Francisco Sarmiento 23

Determinación de la huella hídrica del algodón

Determination of water footprint of cotton

Oscar D. Díaz Fonseca, Juan A. Lizarazo Ariza, Jesús A. Torres Ortega 39

Definición de un modelo de calidad de servicios soportado por tecnologías de la información (TI)

Definition of a service quality model supported by information technologies (IT)

John Martínez, Francisco J. Pino 49

Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano –IRCA– y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento del tolima en los años 2012 – 2013

Analysis of the risk index of the water quality for human consumption – IRCA- and its relation with meteorological variables and geographical location for the tolima department in the years 2012 - 2013

Víctor Leonardo López Jiménez, Judy Johanna Martínez Ramos, Diana Paola Almarío Guío 69

Recorrido virtual en tercera dimensión de la sede principal de una universidad de bogotá

Virtual tour in third dimension of the main headquarters at a universty of bogotá

Yuri Vanessa Nieto Acevedo, José Fernando López Quintero, Claudio Camilo González Clavijo 83

CONTENIDO



Modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor tubulares de sistemas indirectos en procesos UHT en la industria láctea

Models of fouling in tubular heat exchangers in indirect systems in uht milk industry processes

Luis Gómez Orozco, Ana Ilva Capera Urrego

95

La desertificación del suelo, aspectos y estrategias de lucha

The desertification of the soil, aspects and control strategies

Lizeth D. C Molina, Liliána P. Lozano

117

Evaluando la facilidad de aprendizaje de frameworks mvc en el desarrollo de aplicaciones web

Assessing the ease of learning of mvc frameworks in the development of web applications

Libardo Pantoja, César Pardo

129

Ros-gazebo. Una valiosa herramienta de vanguardia, para el desarrollo de la robótica

Ros-gazebo. A valuable tool of avant-edge for the development of robotics

Cristian Camilo Cuevas Castañeda

145

Percepción de los estudiantes sobre la utilización de videojuegos en cursos de la universidad nacional abierta y a distancia -UNAD

Students perception on the use of video games in courses of the open and distance national university - UNAD-

López Ortiz Iván Arturo, Hermes Mosquera Angulo

163

Medición de la madurez de la gestión del conocimiento en la escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería de la UNAD

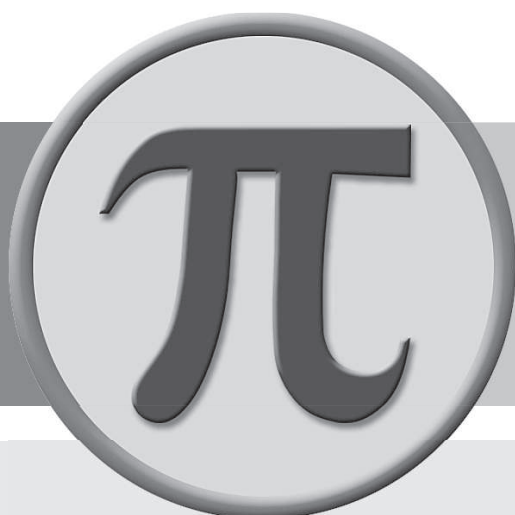
Measurement of the maturity of knowledge management in the basic sciences, technology and engineering school of UNAD

Luis Montañez Carrillo, Jenny Paola Lis Gutiérrez

177

Instrucciones para presentar artículos

193



EDITORIAL



De la tecnología se afirma que es la aplicación práctica del conocimiento; partiendo de esta acepción, se puede asegurar que en casi todas las actividades diarias que realizamos está implícita la utilización de un dispositivo tecnológico y, dentro del mundo de la tecnología se pueden incluir un amplio número de disciplinas como: la informática, robótica, domótica, electrónica, neumática, entre otras muchas más. De esta manera, nos encontramos con el hecho de que la tecnología permite al ser humano desde resolver un problema determinado hasta lograr satisfacer una necesidad en un ámbito concreto.

Esta publicación invita a dar una mirada a los resultados de investigaciones aplicadas en la línea tecnológica con respuestas validadas en aplicaciones con herramientas tecnológicas, cuyos resultados representan un gran aporte y valor agregado con los desarrollos e innovaciones alcanzadas.

El artículo, ***Residuos piscícolas a ensilaje biológico: evaluación fisicoquímica***, de los investigadores Rodrigo Ortega-Toro y José Luis Hoyos Concha, es el resultado de un proceso simple tecnológicamente y económico que consiste en evaluar parámetros fisicoquímicos y estabilizar los subproductos provenientes de piscifactorías los cuales servirán como base para la alimentación de otras especies.

Los investigadores Adrián González, Gelberth Amarillo, Milton Amarillo y Francisco Sarmiento, autores del artículo titulado: ***Drones aplicados a la agricultura de precisión***, presentan los drones como una tecnología que permite evaluar las enfermedades, las plagas, la maleza y los posibles efectos futuros de daños climáticos como las heladas o sequías en cultivos y las condiciones de los terrenos de forma virtual, aplicando tecnologías de cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta.

Cristian Camilo Cuevas Castañeda autor del artículo, ***Ros-Gazebo. Una valiosa herramienta de vanguardia, para el desarrollo de la robótica***, utiliza el Sistema Operativo Robótico – ROS, el cual permite contar con estructuras ya diseñadas y programadas que pueden ser modificadas, evitando, comenzar de cero con cada diseño, superando la pérdida de tiempo inherente a la construcción de algoritmos de piezas comunes, como brazos y ruedas, entre otras. Esta plataforma se complementa con las herramientas de Rviz y Gazebo, que brindan simulaciones 3D del modelo robótico diseñado.

De otra parte, en el artículo ***Determinación de la huella hídrica del algodón***, de los autores Oscar D. Díaz Fonseca, Juan A. Lizarazo Ariza y Jesús A. Torres Ortega, se presenta a la huella hídrica como un indicador para determinar de manera cuantitativa

la relación del hombre con el agua. Mediante la simulación del programa *cropwat* 8.0, calculan los ciclos de consumo de agua en el proceso productivo del cultivo de algodón como huella hídrica total (azul, verde y gris), realizando los respectivos análisis, para así reconocer los procesos antrópicos que afectan en cada tipo de huella las actividades agrarias de este cultivo.

Los investigadores John Martínez y Francisco J. Pino en su artículo ***Definición de un modelo de calidad de servicios soportado por tecnologías de la información TI*** establecen una primera aproximación a un nuevo modelo de calidad de servicios soportados por tecnologías de la información (TI), aplicable a cualquier área de negocio.

El artículo, ***Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA- y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento del Tolima en los años 2012 – 2013***, es producto de un proyecto que tiene como fin contribuir a la gestión de mejora continua en el proceso de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima, gracias al análisis de la información reportada por el Sistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Sivicap.

El diseño de una herramienta en tercera dimensión, que permite a estudiantes y funcionarios, realizar el recorrido virtual de las instalaciones de su universidad a través de la Web, es el producto del trabajo que los investigadores, Yuri Vanessa Nieto Acevedo, José Fernando López Quintero y Claudio Camilo González publicaron en su artículo: ***Recorrido virtual en tercera dimensión de la sede principal de una universidad de Bogotá***.

En el artículo, ***Modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor tubulares de sistemas indirectos en procesos UHT en la industria láctea***, los autores Luis Gómez Orozco y Ana Ilva Capera Urrego describen como con la tecnología (UAT), a temperaturas entre 75°C y 110°C para destrucción de microorganismos esporulados, se llevan a cabo procesos de agregación y desnaturalización de proteínas y precipitación de sales minerales que forman una capa o costra de ensuciamiento en las paredes del tubo de calentamiento y, así mismo, presentan los diferentes modelos matemáticos que explican el fenómeno de ensuciamiento a partir de la transferencia de masa.

Lizeth D. C Molina y Liliana P. Lozano en su artículo, ***La desertificación del suelo, aspectos y estrategias de lucha***, presentan las causas y consecuencias ecológicas, económicas y sociales de la desertificación y las estrategias encaminadas a prevenir y rehabilitar las tierras desertificadas.

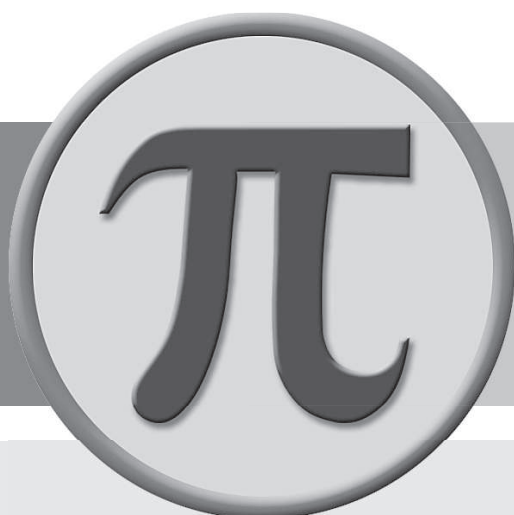
Evaluando la facilidad de aprendizaje de frameworks MVC en el desarrollo de aplicaciones Web, es un artículo escrito por Libardo Pantoja y César Pardo en el que realizan un análisis de diferentes *frameworks* de desarrollo MVC Web, para determinar cuáles son los más convenientes basados en un criterio de selección, en el cual tienen en cuenta el tiempo que requieren durante la curva de aprendizaje.

El artículo, ***La percepción de los estudiantes sobre la utilización de videojuegos en cursos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia –Unad***, escrito por Iván Arturo López Ortiz y Hermes Mosquera Angulo, presenta un análisis de la aceptabilidad, gustos y hábitos de los estudiantes por los videojuegos, así como los dispositivos en los que los tienen instalados. De la misma manera, dan a conocer el uso que les dan y el tiempo que estudiantes y profesores de diferentes programas de la UNAD les dedican a estos, o estarían dispuestos a dedicarles en la semana.

Medición de la madurez de la gestión del conocimiento en la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería de la Unad. A través del modelo denominado *General Knowledge Management Maturity Model* (G-KMMM) modificado, el cual propone 5 niveles de madurez, los autores Luis Montañez Carrillo y Jenny Paola Lis Gutiérrez miden la madurez de la gestión del conocimiento de la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería.

En conclusión, se invita a trabajar en áreas específicas de la ingeniería para la solución de problemas regionales, teóricos y/o prácticos, los cuales se constituyan en ejes estratégicos funcionalmente transferibles al entorno y reciclables para nuevos desarrollos en ciencia y tecnología.

Nelly Morales Pedraza
Editora



**REVISTA ESPECIALIZADA
EN INVESTIGACIÓN**

RESIDUOS PISCÍCOLAS A ENSILAJE BIOLÓGICO: EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA

FROM FISH WASTE TO BIOLOGICAL SILAGE: PHYSICO-CHEMICAL EVALUATION



¹Rodrigo Ortega-Toro, ²José Luis Hoyos Concha

Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Colombia.

¹rodrigo.ortega@gmail.com

²jlhoyos@unicauca.edu.co

Recibido: 21/07/2015 • Aprobado: 15/09/2015

RESUMEN

Una alternativa para estabilizar los subproductos provenientes de piscifactorías es el ensilaje de los residuos y vísceras, los cuales servirán como base para la alimentación de otras especies. Este proceso es amigable con el medio ambiente, seguro, simple tecnológicamente y económico. El objetivo del presente trabajo fue evaluar parámetros fisicoquímicos de residuos de tilapia durante el proceso de fermentación ácido láctica. Se fermentaron matrices de residuos de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) inoculadas con bacterias ácido lácticas (BAL) de yogur y *Lactobacillus plantarum* B2. Se usó un diseño factorial de 22 en el que los factores por evaluar fueron la matriz y el inóculo, cada uno con dos niveles. Se evaluaron, así mismo, parámetros fisicoquímicos como, pH, acidez titulable, consumo de azúcares totales y análisis proximal. Se encontró que el proceso fermentativo de ensilado inoculado con *L. plantarum* B2 presentó mejor comportamiento en cuanto a reducción de pH y producción de acidez titulable. En cuanto al ensilaje obtenido mediante la fermentación con yogur, presenta parámetros de calidad aceptables siendo este inóculo una alternativa viable para llevar a cabo el proceso de fermentación.

Palabras clave: ensilaje biológico, fermentación ácido láctica, residuos, tilapia.

ABSTRACT

*An alternative to stabilize the by-products from fish farms is the silage of waste and viscera, which will serve as a basis for the supply of other species. This process is friendly with the environment, safe, economic and simple technologically. The objective of the present work was to evaluate physicochemical parameters of tilapia residues during the process of acid lactic fermentation. Waste samples of red tilapia (*Oreochromis spp.*) inoculated with lactic acid bacteria (BAL) of yogurt and *Lactobacillus plantarum* B2 were fermented. It was used a factorial design of 22 in which the factors for evaluating were the samples and the inoculum, each with two levels. We evaluated, likewise, physicochemical parameters such as pH, titrable acidity, consumption of total sugars and proximate analysis. It was found that the fermentative process of silage inoculated with *L. plantarum* B2 showed a better*

behavior in regard to pH reduction and titratable acidity production. In regard to the silage obtained through the fermentation with yogurt, it presents parameters of acceptable quality, being this inoculum a viable alternative to carry out the fermentation process.

Keywords: *acid lactic fermentation, biological silage, tilapia, waste.*



I. INTRODUCCIÓN

El ensilaje de pescado se define como un producto semilíquido, pastoso, producido a partir de los residuos de la industria pesquera, carbohidratos como fuente energética y fermentado anaeróbicamente mediante la adición de BAL [1].

El constante desarrollo de la industria pesquera genera gran cantidad de residuos que son considerados materias de buena calidad proteica y se descartan anualmente generando gran contaminación. En Colombia, la acuicultura tiene gran auge, contribuyendo a la productividad del país. Por otro lado, se ha incrementado la preocupación por el medio ambiente y el óptimo aprovechamiento de los recursos, promoviendo la utilización integral de residuos, dándoles uso idóneo y disminuyendo en gran medida la contaminación [2].

Una alternativa para estabilizar los subproductos provenientes de piscifactorías, es el ensilaje de los residuos y vísceras, que servirán como base para la alimentación de otras especies. Este proceso es amigable con el medio ambiente, seguro, simple tecnológicamente y económico [2, 3].

El ensilado ha sido estudiado extensamente para incrementar la productividad de algunas industrias [4]. Entre sus aplicaciones está el abono orgánico [5], la producción de condimentos y químicos, alimentación de cerdos, aves y peces, cuyos mejorados [6] y camarón blanco [7], cuyo resultado es la disminución tanto de la contaminación como de los costos totales de producción [8].

A pesar de las ventajas de utilización del ensilaje, aún no se ha definido un patrón composicional [5]. Sin

embargo, muchos investigadores han utilizado residuos y vísceras de pescado como componentes principales para la fermentación [8], inoculando con BAL de diversas especies, entre las que se encuentran el *Lactobacillus plantarum B2* y las BAL de yogur [9] por su disponibilidad y efectividad en la fermentación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de matrices de ensilaje durante 18 días de fermentación a temperatura ambiente inoculado con BAL de yogur y *L. Plantarum B2*.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

La Asociación de Piscicultores de Mindalá (Aso-pim), la Asociación de Productores Indígenas del Cauca (Asproinca) y la Asociación de Piscicultores de la Salvajina del municipio de Morales-Cauca (Apismo), ubicados en la represa La Salvajina (Cauca), fueron los entes encargados de suministrar los residuos y vísceras de tilapia roja. Por su parte, el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Cauca proporcionó la cepa de *Lactobacillus plantarum B2* y las BAL del yogur fueron aisladas de un yogur comercial. Como fuente de carbono se usó harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad HMC-1, adquirida en la empresa Deriyuca Ltda. ubicada en el municipio de Mondomo (Cauca); como anti fúngico se utilizó benzoato de sodio [10] adquirido de Sigma Aldrich, y como antioxidantes se dispuso de extracto de cebolla [11] proporcionados por las plantas piloto de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.

B. Métodos

1) **Activación de las cepas:** las cepas fueron activadas en un medio alternativo estandarizado, e incubando a 35 °C por 48 h [12] en una incubadora E&Q serie IDEN-6V.

2) **Eviscerado y fileteado:** las tilapias rojas se cosecharon en la represa La Salvajina, se congelaron y transportaron hasta la Planta Piloto de Cárnicos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca donde se evisceraron y filetearon y, posteriormente, se homogenizaron en un molino industrial Javar serie 06 con un disco de 4,5 mm. Las vísceras fueron homogenizadas usando el mismo método.

3) **Preparación del ensilado:** el material crudo se mezcló usando un 15,4% de vísceras y 84,6% de residuos, proporciones establecidas de acuerdo con las condiciones composicionales de la tilapia roja en estado natural, como se determinó en estudios preliminares. A todos los tratamientos se les mezcló con 15% de harina de yuca como fuente de carbono, 0,25% de benzoato de sodio como fungicida y 0,1% de extracto de cebolla como antioxidante. Los tratamientos se pusieron en reactores con capacidad de 500g dejando un espacio de cabeza del 60%; los reactores tenían un orificio de 0,5 mm de diámetro para que los gases producidos pudieran salir. En la Tabla 1 se muestran las fracciones másicas de cada formulación. Los tratamientos se almacenaron bajo condiciones ambientales para su monitorización.

TABLA I
FRACCIONES MÁSICAS DE LAS FORMULACIONES ESTUDIADAS

FORMULACIÓN	VY	VP	RY	RP
Xviseras	0,798	0,798	0,123	0,123
Xresiduos			0,675	0,675
Xharina	0,120	0,120	0,120	0,120
Xinóculo	0,080	0,080	0,080	0,080
Xbenzoato de sodio	0,002	0,002	0,002	0,002
Xextracto cebolla	0,001	0,001	0,001	0,001
	1,000	1,000	1,000	1,000

4) Medición de parámetros fisicoquímicos:

para medir el pH, se realizó una dilución 10-1 en agua destilada y se centrifugó por 10 min a 5000 rpm [13] usando una centrífuga Indulab 7849; el sobrenadante se usó para realizar la lectura de pH [11] usando un pH metro marca Oakton serie 324546. Del sobrenadante resultante de esta determinación, se tomaron 10 mL; fueron titulados con NaOH 0,1 N normalizado hasta llegar a un pH final de 8,2 [4]. Para llevar a cabo la titulación, se usó una bureta clase A marca Blaubrand y un pH metro marca Oakton serie 324546. Se determinó azúcares totales por el método de Antrona, cada 72 h. Se realizaron las pruebas de humedad (AOAC 934,01) [14], cenizas (AOAC 942,05) [15], extracto etéreo (AOAC 920,39) [16], nitrógeno (AOAC 976,05) [17], fibra bruta (AOAC 962,09) [18] y extracto no nitrogenado a los 0, 6, 12 y 18 días de fermentación. Todas las pruebas se realizaron por triplicado en los Laboratorios de Química y Biotecnología de la Universidad del Cauca.

5) **Análisis estadístico:** se empleó un arreglo factorial de 22, en el que los factores fueron la matriz de fermentación (una matriz compuesta por vísceras y una combinación de vísceras y residuos conservando las proporciones del animal vivo); y el inóculo (yogur y *L. plantarum* B2) se evaluó por triplicado con un α de 0,05. Los tratamientos estudiados fueron VY (vísceras inoculados con yogur), VP (vísceras inoculados con *L. plantarum*), RY (residuos + vísceras inoculados con yogur) y RP (residuos + vísceras inoculados con *L. plantarum*). Se tomaron mediciones de los parámetros fisicoquímicos durante 18 días de fermentación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Activación de las cepas

En estudios previos [19], se comprobó que tanto la cepa de yogur como la de *L. plantarum* tuvieron un desarrollo satisfactorio. La cepa de yogur alcanzó un crecimiento de bacterias lácticas de 7,22 g/L, un consumo de azúcares totales al final de las

48 h de fermentación del 58,5% y una generación de ácido láctico de 10,08 g/L. Para el *L. Plantarum* el crecimiento fue de 19,6 g/L, consumo de sustrato de 97,6% y generación de ácido láctico de 18 g/L.

B. Parámetros fisicoquímicos

A continuación se describen los resultados de los análisis fisicoquímicos.

1) Seguimiento de pH y acidez titulable: el seguimiento de estas dos variables es el mejor indicador del desarrollo de un ensilaje biológico [20]. En las Fig. 1 y 2 se observan los datos de pH y acidez durante 18 días de fermentación. La acidez se encuentra en un rango entre 0,31 y 0,47 % de ácido láctico y el pH desciende a valores cercanos a 4,0 [19]. De igual forma, se observa que el *L. plantarum* es la bacteria que más disminuyó el pH y elevó la acidez titulable, tal como observan otros autores [21].

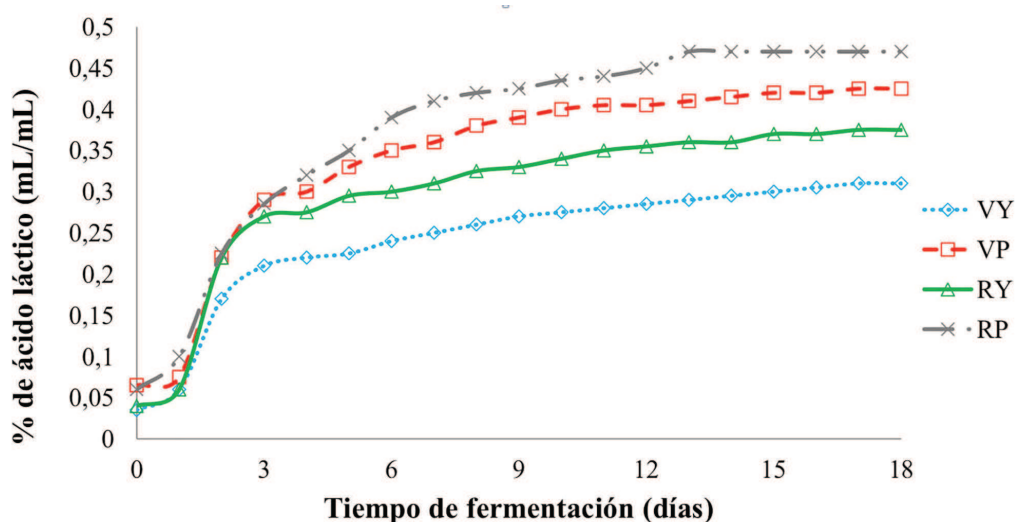


Fig. 1 Porcentaje de acidez Vs. tiempo de fermentación

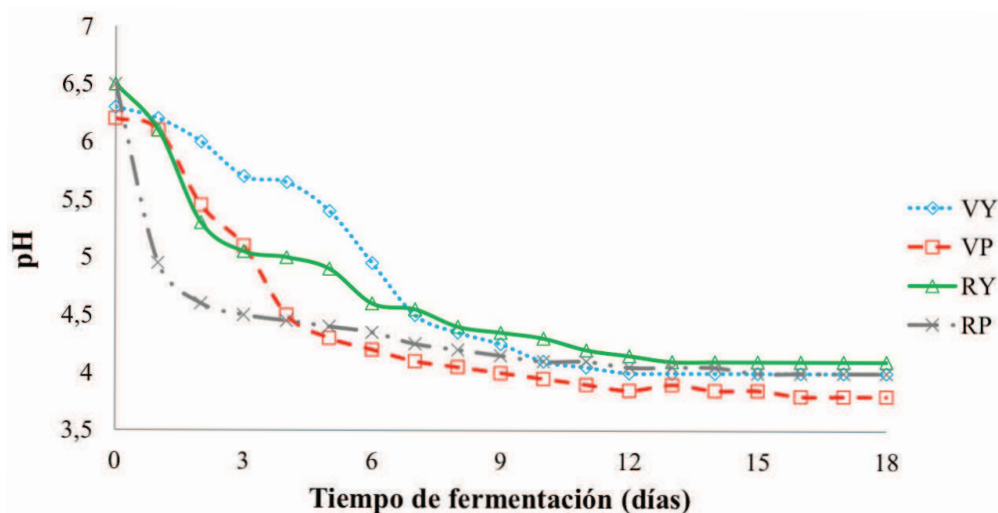


Fig. 2 pH Vs. tiempo de fermentación

La diferencia entre los valores, sugiere que *L. plantarum* tiene mayor capacidad de producir ácido y soportar concentraciones más elevadas de este [22] para ambas matrices de ensilado, como muestra la Fig 1.

El análisis de varianza realizado arrojó que la especie de BAL usada como inóculo, la matriz de fermentación y la interacción entre el inóculo y la matriz de fermentación influyen significativamente ($\alpha = 0,05$) en la disminución de pH y en el aumento de acidez. De la misma forma, la prueba de Tukey para promedios arrojó que los tratamientos más influyentes sobre ambas variables fueron RP seguido de VP, RY y VY.

2) Reducción de azúcares totales: a medida que las BAL se establecen en el medio, utilizan la fuente de carbono disponible para poder crecer y llevar a cabo su proceso metabólico [23]. En la Fig 3 se observa que la matriz más influyente es aquella conformada por vísceras, seguida por la de residuos y vísceras. El mayor consumo de azúcares pudo deberse a la fermentación de los carbohidratos disponibles por parte de la flora natural endógena [24]. La matriz de vísceras mostró un descenso de pH más lento y un mayor conteo de bacterias mesófilas provocando la sobrevivencia de bacterias como las coliformes totales durante los primeros días de fermentación, como se reportó en otros estudios [25].

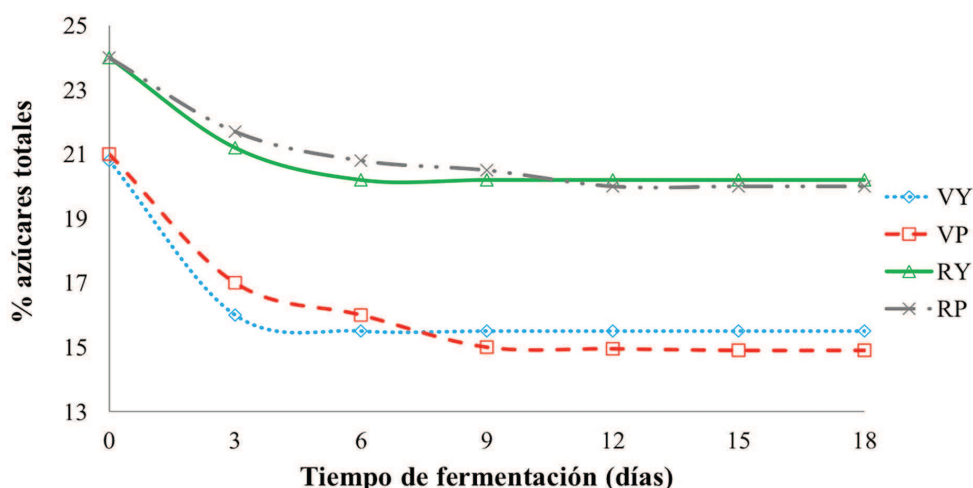


Fig. 3 Azúcares totales Vs. tiempo de fermentación

En la matriz de residuos se presentó un menor consumo de la fuente de carbono, debido a un rápido descenso del pH en el proceso fermentativo por la producción de ácido láctico inhibiendo la flora indeseable [24]. En cuanto a la cepa utilizada, los resultados muestran al final del proceso fermentativo un mayor consumo de azúcares durante el tiempo de fermentación por *Lactobacillus plantarum* B2 para las dos matrices, seguidas por las BAL del yogur.

Sin embargo, es posible observar en la Fig 3, que el consumo de la fuente de carbono es mayor por parte de las bacterias del yogur para ambas

matrices en los primeros días de fermentación. En el caso de la matriz de vísceras, las BAL del yogur exhiben un mayor consumo hasta el día 6, tiempo en el que el consumo es igualado y superado posteriormente por *Lactobacillus plantarum*. Este mismo efecto ocurrió para la matriz de residuos y vísceras en el día 9 de fermentación.

3) Análisis proximal: los resultados obtenidos mediante el análisis proximal se muestran en la Tabla 2. Se puede observar que el contenido de grasa en todos los tratamientos aumentó mientras que el contenido proteico no presentó cambios notables para la matriz conformada por residuos y vísceras.

TABLA II
ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS FORMULACIONES ESTUDIADAS DURANTE 18 DÍAS DE FERMENTACIÓN

TRATAMIENTO	DÍA	MINERALES	PROTEÍNA	GRASA	FIBRA
	0	4,9 ^A ± 0,4	14,7 ^{AB} ± 0,6	20,4 ^A ± 1,5	1,63 ^B ± 0,13
VP	6	5,2 ^B ± 0,3	14,6 ^{AB} ± 1,4	20,1 ^A ± 1,9	1,66 ^B ± 0,12
	12	4,9 ^A ± 0,5	14,1 ^A ± 1,2	20,4 ^A ± 1,5	1,61 ^B ± 0,14
	18	4,9 ^A ± 0,4	15,1 ^B ± 0,5	23,9 ^B ± 1,8	1,36 ^A ± 0,15
	0	4,8 ^A ± 0,5	13,8 ^A ± 0,9	21,5 ^A ± 1,2	1,53 ^B ± 0,14
VY	6	5,8 ^B ± 0,4	18,9 ^B ± 1,0	32,1 ^B ± 1,5	0,88 ^A ± 0,12
	12	6,3 ^C ± 0,2	19,5 ^B ± 1,2	29,8 ^{AB} ± 1,2	0,89 ^A ± 0,15
	18	7,0 ^D ± 0,4	19,9 ^B ± 0,8	30,1 ^{AB} ± 1,4	0,76 ^A ± 0,14
RP	0	10,7 ^A ± 0,4	28,8 ^B ± 1,4	17,1 ^A ± 1,2	0,91 ^A ± 0,12
	6	10,0 ^A ± 0,5	27,1 ^A ± 1,3	18,8 ^{AB} ± 1,1	1,06 ^B ± 0,13
	12	9,8 ^A ± 0,3	28,9 ^B ± 1,5	19,2 ^B ± 0,9	1,13 ^B ± 0,14
	18	10,4 ^A ± 0,5	27,6 ^A ± 1,2	19,4 ^B ± 1,4	1,15 ^B ± 0,13
	0	11,5 ^B ± 0,9	29,2 ^B ± 1,4	17,0 ^A ± 1,2	1,06 ^A ± 0,13
RY	6	10,3 ^A ± 0,5	28,0 ^A ± 1,3	20,1 ^B ± 1,0	1,1 ^A ± 0,14
	12	10,3 ^A ± 0,3	29,1 ^B ± 1,2	20,2 ^B ± 1,1	1,25 ^B ± 0,12
	18	10,4 ^A ± 0,5	28,3 ^A ± 1,4	20,2 ^B ± 1,2	1,18 ^B ± 0,11

Letras superíndices diferentes en las columnas de la misma formulación indican diferencias significativas entre los tiempos de fermentación ($p < 0.05$).

El incremento que se obtiene tanto para el extracto etéreo como para el contenido proteico se debe a la reducción de los carbohidratos en el proceso fermentativo los cuales se utilizan como fuente energética, no solo por las BAL, sino también por la flora natural presente al inicio de la fermentación, provocando la concentración de los otros nutrientes.

Para la matriz conformada por vísceras para ambos inóculos, la mayor concentración de los nutrientes se debe a la alta producción de gas, principalmente de CO₂, causada por la flora presente en las materias primas [26] como los coliformes fecales, levaduras y aerobios mesófilos [25]

Para las matrices RP y RY, este efecto se presentó en menor proporción; esto está relacionado directamente con el comportamiento del pH, el cual descendió más rápido (Fig 2), logrando en menor tiempo la inhibición de la flora causante del CO₂.

En cuanto a los resultados obtenidos para el contenido proteico, estos concuerdan con lo reportado por otros autores [27], quienes no encontraron cambios significativos ($\alpha = 0,05$) en cuanto al contenido de proteína del ensilaje final con respecto a los residuos de pescado fresco conformados por cabezas, espinas, cola, piel y vísceras.

Debido a esto se observa también una disminución del contenido de materia seca. Puede atribuirse a que durante el proceso fermentativo se producen compuestos volátiles (compuestos a base de carbono, CO₂, etanol, ácido grasos libres, entre otros) que pudieron haberse volatilizado al realizar la prueba de determinación de humedad en la que se utilizan temperaturas de 105°C [12, 28].

En relación con el contenido de minerales, este se mantiene estable en las matrices fermentadas, observando un mayor contenido en las matrices conformadas por residuos. Este contenido puede ser atribuido a la gran cantidad de huesos y piel presentes en los residuos de pescado [28].

Por su parte, el contenido de fibra no presenta cambios significativos durante el proceso de ensilaje; este es un elemento esencial ya que se considera como un prebiótico que podría producir efectos beneficiosos en el pez, estimulando selectivamente el crecimiento y/o actividad de algunas bacterias del aparato digestivo, además de favorecer la respuesta inmunológica aumentando las defensas y resistencia a enfermedades [29].

IV. CONCLUSIONES

La fermentación de vísceras y residuos de tilapia roja usando como inóculos *L. plantarum* B2 y BAL de yogur permite la obtención de ensilado estable y apto para la elaboración de concentrados para especies piscícolas y animales de granja. El proceso fermentativo de ensilado de tilapia roja inoculado con *L. plantarum* B2 presenta mejor comportamiento en cuanto a reducción de pH y producción de acidez titulable. Por su parte, el ensilaje obtenido mediante la fermentación con BAL del yogur presentó parámetros de calidad aceptables, siendo este inóculo una alternativa viable para llevar a cabo el proceso de fermentación.

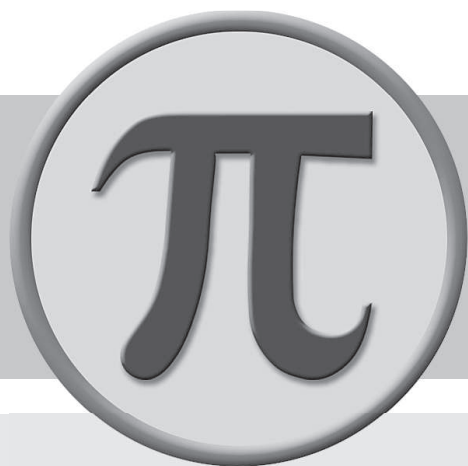
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por el soporte económico a través del proyecto *Valoración técnica y económica de los subproductos obtenidos de la transformación agro-industrial de la tilapia roja (Oreochromis spp)* en la represa La Salvajina, municipio de Suárez, departamento del Cauca”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Van Wyk y C. Heydebdrych, “The production of naturally fermented fish silage using various lactobacilli and different carbohydrate sources”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 36, pp. 1093-1103, 1985.
- [2] H. Santana Delgado, E. Avila, y A. Sotelo, “Preparation of silage from spanish mackerel (*Scomberomorus aculates*) and its evaluation in broiler diets”, *Animal Feed Science and Technology*, vol. 141, pp. 129–140, 2008.
- [3] E. Dapkevicius, M. de Lourdes, I. Batista, M. J. Robert Nout, F. M. Rombouts, y J. H. Houben, “Lipid and protein changes during the ensilage of blue whiting (*Micromesistius poutasou risso*) by acid and biological methods”, *Food Chemistry*, vol. 63, pp. 97-102, 1998.
- [4] L. A. Cira, S. Huerta, M. H. George, K. Shirai, “Pilot scale lactic acid fermentation of shrimp wastes for chitin recovery”, *Process Biochemistry*, vol. 37, pp. 1359 -1366, 2002.
- [5] G. G. Pinto De Carvalho, A. J. Vieira Pires, C. Mattos Velloso, F. Ferreira da Silva y B. M. Aparecida de Carvalho, “Silagem de resíduo de peixes em dietas para alevinos de tilápia-do-nilo”, *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 35, pp. 126-130, 2006.
- [6] J. Mattos, L. Chauca, F. San Martín, F. Carcelén y T. Arbaiza, “Uso del ensilado biológico de pescado en la alimentación de cuyes mejorados”, *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 14, pp. 89-96, 2003.
- [7] D. González, J. Córdoba, F. Indorf y E. Buitrago, “Preliminary studies of fish silage use in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) diet formulation”, *Revista científica*, vol. 17, pp. 166-172, 2007.
- [8] L. F. de Arruda, R. Borghesi y M. Oetterer, “Use of Fish Waste as Silage-A Review”, *Brazilian archives of Biology and Technology*, vol. 50, pp. 879-886, 2006.
- [9] E. R. Farnworth, I. Mainville, M. P. Desjardins, N. Gardner, I. Fliss y C. Champagne, “Growth of probiotic bacteria and bifidobacteria in a soy yogurt formulation”, *International Journal of Food Microbiology*, vol. 116, pp. 174-181, 2006.
- [10] R. M. Vidotti, E. M. Macedo Viegas y D. J. Carneiro, “Amino acid composition of processed fish silage using different raw materials”, *Animal Feed Science and Technology*, vol. 105, pp. 199-204, 2003.

- [11] O. A. Fagbenro y K. Jauncey, "Physical and nutritional properties of moist fermented fish silage pellets as a protein supplement for tilapia (*Oreochromis niloticus*)", *Animal Feed Science Technology*, vol. 71, pp. 11-18, 1998.
- [12] M. Faid, A. Zouiten, A. Elmarakchi y A. Achkari-Begdouri, "Biotransformation of fish waste into a stable feed ingredient", *Food Chemistry*, vol. 60, pp. 13-18, 1996.
- [13] J. A. Vazquez, M. P. Gonz  les y M. A. Murado, "Effects of lactic acid bacteria cultures on pathogenic microbiota from fish", *Aquaculture*, vol. 245, pp. 149-161, 2005.
- [14] AOAC *Determinación de humedad*, AOAC 934,01, 1990.
- [15] AOAC *Determinación de ceniza*, AOAC 942,05, 1990.
- [16] AOAC *Determinación de extracto etéreo*, AOAC 920,39, 1990.
- [17] AOAC *Determinación de n  tr  geno*, AOAC 967,05, 1990.
- [18] AOAC *Determinación de fibra bruta*, AOAC 962,09, 1990.
- [19] C. Agudelo, R. Ortega-Toro y J. L. Hoyos, "Determination of kinetic parameters of two lactic inoculums: *Lactobacillus plantarum* A6 and lactic acid bacterias of yogurt", *Biotechnology en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 8, pp. 8-16, 2010.
- [20] O. A. Fagbenro y O. A. Bello-Olusoji, "Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage", *Food Chemistry*, vol. 60, pp. 489-493, 1997.
- [21] A. Gelman, V. Drabkin y L. Glatman, "Evaluation of lactic acid bacteria, isolated from lightly preserved fish products, as starter cultures for new fish-based food products", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 1, pp. 219-226, 2000.
- [22] S. Bengmark, "Immunonutrition: Role of biosurfactants, fiber, and probiotic bacteria", *Nutrition*, vol. 14, pp. 585-594, 1998.
- [23] G. Reddy, Md. Altaf, B. J. Naveena, M. Venkateshwar y E. Vijay Kumar, "Amylolytic bacterial lactic acid fermentation - A review", *Biotechnology Advances*, vol. 26, pp. 22-34, 2008.
- [24] K. Shirai, I. Guerrero, S. Huerta, G. Saucedo, A. Castillo, R. Obdul   y G. M. Hall, "Effect of initial glucose concentration and inoculation level of lactic acid bacteria in shrimp waste ensilation", *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 28, pp. 446-452, 2001.
- [25] R. Ortega-Toro y J.L. Hoyos-Concha, "Microbiology of Tilapia Waste During Lactic Acid Fermentation Process", *Agro  nom  a Colombiana*, manuscrito aceptado para publicación. ISSN 0120-9965.
- [26] O. Fagbenro y K. Jauncey, "Growth and protein utilization by juvenile catfish (*Clarias gariepinus*) fed dry diets containing co-dried lactic-acid-fermented fish silage and protein feeds-tuffs", *Bioresource Technology*, vol. 51, pp. 29-35, 1995.
- [27] J. E. Llanes Iglesias y J. Toledo Pérez, "Evaluación de los desechos frescos de pescado y ensilados como única fuente de proteína animal en la alimentación de híbrido de *Clarias* (*Clarias gariepinus* x *C. macrocephalus*)", *Revista AquaTIC*, vol. 25, pp.: 22-27, 2006.
- [28] A. Hammouni, M. Faid, M. El yachoui y H. Amarouch, "Characterization of fermented fish waste used in feeding trials with broilers", *Process Biochemistry*, vol. 33, pp. 423-427, 1998.
- [29] A. L. de las Cagigas y J. Blanco "Prebióticos y Probióticos, una relación benef  ciosa", *Revista Cubana de Alimentos y Nutrición*, vol. 16, pp. 63-68, 2002.



DRONES APLICADOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

DRONES APPLIED TO PRECISION AGRICULTURE

¹Adrián González, ²Gelberth Amarillo, ³Milton Amarillo, ⁴Francisco Sarmiento

^{1,2}Universidad de Cundinamarca, ³Universidad Nacional Abierta y a Distancia,

⁴Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

¹aalejandrogonzalez@mail.unicundi.edu.co

²gamarillo@mail.unicundi.edu.co

³milton.amarillo@unad.edu.co

⁴fjsarmiento@correo.udistrital.edu.co

Recibido: 03/09/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

El siguiente artículo presenta los drones como una tecnología que ayuda a los múltiples procesos de la agricultura, a captar información importante y a evaluar las condiciones de los terrenos monitoreados, gracias a sus grandes ventajas para sobrevolar los campos y los cultivos. Ahora no es completamente necesario recorrer todo el cultivo personalmente para detectar los problemas que sufre este, ya que con los drones el procedimiento de evaluar los cultivos se puede hacer de forma virtual, aplicando tecnologías de cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta. Lo más importante es el poder determinar de forma temprana y eficiente las enfermedades, las plagas, la maleza y los posibles efectos futuros de daños climáticos como las heladas o sequías. La eficiencia, tanto ambiental como económica, ayuda en los procesos de siembra, costos de riego, abono y fumigación.

Palabras claves: agricultura de precisión, cultivos, drones, imágenes multiespectrales, ingeniería agronómica, prevención de plagas, tecnología.

ABSTRACT

The following article presents the drones as a technology that helps the multiple processes of agriculture, to capture important information and to assess the conditions of the land being monitored, thanks to their great advantages for flying over the fields and crops. Now it is not absolutely necessary to traverse the whole crop personally to detect the problems that it suffers, since with drones the procedure to evaluate the crops can be done in a virtual way, applying technologies of cameras with high definition and information georeferenced for its exact location. The most important thing is to determine early and efficiently diseases, pests, weeds and possible future effects of climate damage such as frost or drought. The efficiency, both environmental and economic, help in the process of planting, and irrigation, fertilizer and fumigation costs.

Keywords: agronomic engineering, crops, drones, multiespectral images, precision agriculture, pest prevention, technology.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura en todo el mundo propende por la seguridad alimentaria a futuro, razón por la cual se está en la búsqueda de tecnologías modernas que ayuden a mitigar la falta de atención de ciertas particularidades de los cultivos que generan gastos innecesarios en el monitoreo de los mismos. Anteriormente, las fincas no tenían una gran área y, por ende, los cultivos en estas no eran muy grandes (además de otros factores que afectan a la sociedad actual: tiempo), por lo que no era tan difícil recorrerlas completamente. No obstante, hoy en día, la demanda de alimentos necesita de cultivos más extensos, que se vuelven demasiado grandes para poderlos administrar perfectamente como se hacía antes. Esta problemática genera que las personas no puedan conocer de manera puntual los cultivos que manejan y tomen decisiones generalizadas de manera errónea, para ciertas áreas, que a corto y mediano plazo traerán como resultado pérdidas en gastos superfluos y un mayor impacto ambiental en sus cultivos.

Se evidencia que a partir de los drones, vistos como una herramienta tecnológica innovadora, es posible resolver las problemáticas expuestas en campos de cultivos de gran extensión, ya que con cámaras de alta definición e información geográfica pueden recorrer más de mil hectáreas en menos de una hora [1]. Estos dispositivos para la toma de mediciones y captura remota que sobrevuelan los cultivos con cámaras multispectrales pueden tomar fotografías y grabar videos de alta resolución que detectan características que se pasan por alto a simple vista [2], ayudando a respaldar las decisiones para una mejor precisión y productividad del campo.

II. DESARROLLO DE CONTENIDO

A. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en el manejo específico de un área de cultivo. Para ello, se utilizan herramientas tecnológicas como el posicionamiento global, dispositivos de distribución de riego,

fertilizantes y plaguicidas variables, sensores climatológicos de cultivo y, últimamente, los drones [3]. Estas herramientas en conjunto realizan el proceso de recolección de la información la cual es finalmente plasmada en mapas digitales sobre los cuales se toman decisiones de manejo [4].

Para [5], el uso de la agricultura de precisión está supeditado a los beneficios económicos y define tres criterios para que esto se cumpla:

- Que la variabilidad de los factores dentro del área de cultivo influya en la producción final.
- Que las causas de la variabilidad puedan ser identificadas
- Que la información obtenida pueda ser usada para mejorar las prácticas de manejo del cultivo y mejorar la productividad.

La agricultura de precisión tiene como herramientas: el uso de tecnologías de posicionamiento global satelital (GPS), sensores láser en tierra para medir el nivel del terreno e imágenes aéreas para evaluar las diferentes variables de cada determinada parcela y, claro está, el país debe contar con un buen sistema de información geográfica [6].

Los mapas de producción [7] son de gran importancia para la agricultura de precisión. Estos se generan a partir de herramientas tecnológicas y diversos métodos gracias a los cuales es posible definir las áreas del cultivo que presentan una adecuada producción y, así mismo, detectar cuáles áreas requieren análisis especial y dónde deben aplicarse correctivos en busca del objetivo deseado.

Para entender el estado de la vegetación en general, se utilizan los índices de vegetación [8], aplicando las operaciones algebraicas entre las bandas de la imagen tratada; esta puede ser tomada por medio de un dron, un avión o un satélite, dando

como resultado destacar algunas características como la vegetación, el suelo, la radiación solar y la humedad, entre otras, y determinar los parámetros de la cobertura vegetal por medio de los píxeles [9].

B. Drones y teledetección agrícola

Cada vez son más los agricultores que confían en la agricultura de precisión y en la implementación de los drones gracias a sus capacidades de captar grandes cantidades de información de sus cultivos de manera precisa y ayudar a la toma de decisiones; la teledetección agrícola, entonces, permite obtener información de la vegetación sin necesidad de estar en contacto directo con ella.

En la agricultura de precisión por medio de drones se captan imágenes originadas por cámaras hiperespectrales que capturan información del espectro electromagnético incluido el espectro visible con frecuencias de cada banda muy pequeños, las cámaras multiespectrales que pueden obtener el RGB más cualquier otra banda con información adicional a parte de la visible; las cámaras infrarrojas o térmicas se usan para obtener las diferentes bandas del espectro [10], que con una oportuna implementación permiten adquirir los datos con los que se generan las valoraciones de los cultivos tratados y, de esta forma, prestar una adecuada atención de manera puntual y localizada a los cultivos. En cambio, en la agricultura convencional, se aplican de manera uniforme los insumos o fertilizantes para la prevención de enfermedades sin tener en cuenta la variabilidad espacial de los diversos factores implicados en el buen desarrollo de los cultivos; en otras palabras, no se presta una adecuada atención y se generan gastos innecesarios [11].

Mediante las imágenes tomadas con los drones se pueden generar diagnósticos que permiten diversas operaciones, tales como, gestiones hídricas, fertilización, detección de enfermedades y cosechas selectivas, que, a su vez, dan paso a la producción de mapas agronómicos los cuales representan claramente los problemas y los avances de los cultivos.

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, con base en la medición de la intensidad de la radiación que la vegetación refleja y que se puede observar por medio de las bandas del espectro electromagnético [12], tal como se muestra en la Fig. 1.

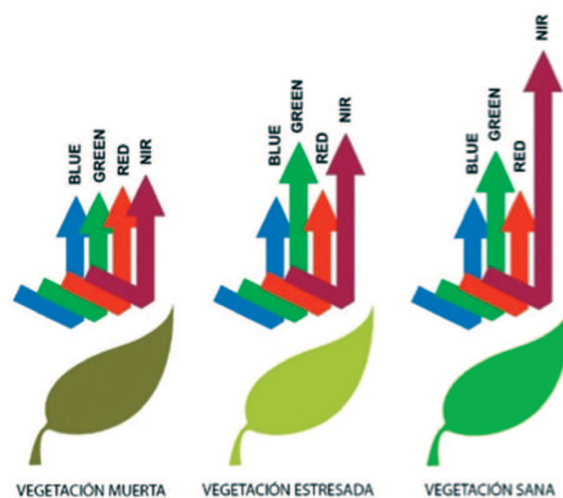


Fig. 1 Reflectancia de las bandas según la vegetación. [12]

El NDVI se utiliza en todo el mundo para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización. El NDVI es muy utilizado en el seguimiento de la vegetación global porque ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, la orientación y otros factores extraños [13].

La agrupación de REM (Radiación Electromagnética [14]) con iguales características recibe el nombre de banda o segmento. Para la adquisición remota, las principales bandas de interés son la visible, la infrarroja (IR) y las microondas. La amplia banda IR puede además dividirse en IR cercano (NIR), IR medio (MIR) e IR lejano (FIR) o térmico. De esa forma, se puede determinar el estado de la vegetación y los cultivos, Fig. 2, [15].

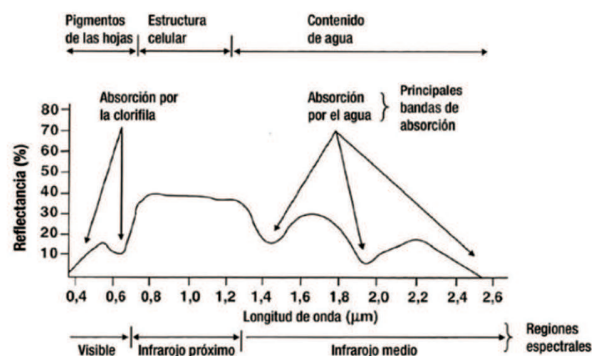


Fig. 2 Radiación Electromagnética. [16]

En el mosaico que se muestra en la Fig. 3, realizado a partir de imágenes obtenidas por drones y procesadas para observar la banda NIR, se puede diferenciar claramente la vegetación en color rojo, y la variación entre el césped, los arbustos y los árboles, incluyendo cultivos y arados [17].

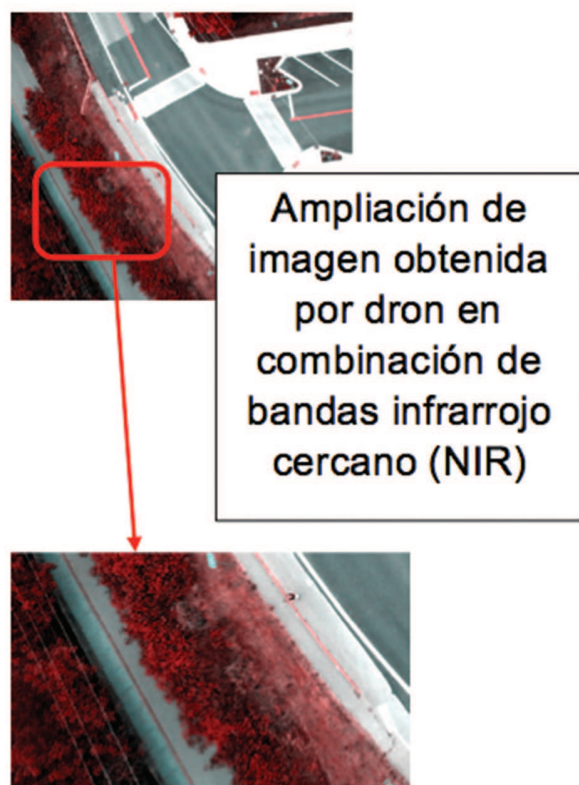


Fig. 3 Imagen en combinación de bandas infrarrojo cercano (NIR) obtenida por drones, que muestra el tono de rojos en la vegetación.

C. Características de los drones para el sector agro

Los drones tienen como finalidad agilizar y ayudar en los diversos procesos, como la siembra apoyando en la identificación de terrenos fértiles y cómodos para el cultivo, en el desarrollo del cultivo monitoreando los cultivos identificando posibles riesgos y en la cosecha del cultivo identificando la producción final, desde las actividades que desempeñan actualmente, tales como, el aeromodelismo, trabajos en seguridad fiscal y vigilancia, hasta su uso en el sector de las geo ciencias y en el sector del agro [18], [19].

Para este sector específico se implementan drones con características especiales que permitan captar la información que el ser humano no puede ver a simple vista. Estas características son:

Cámara: existen diversos tipos de cámaras utilizadas en los drones para captar la información mediante las bandas del espectro electromagnético y realizar las estimaciones por medio del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada).

Hay cámaras como las Canon en su versión S110 de 12 MPx que implementan el Dron eBee Ag con las siguientes características:

- **S110 NIR:** obtiene datos de imagen en la banda infrarroja cercana, en la que se observa una alta reflectancia en las plantas.
- **S110 RE:** obtiene datos en la banda roja (*Red Edge*), en la que la reflectancia de la planta pasa de baja a alta.
- **S110 RGB:** obtiene datos normales de imagen del espectro visible.

Estas cámaras permiten obtener fotografías con información precisa sobre la vegetación, como se observa en el mosaico generado en la Fig. 4.

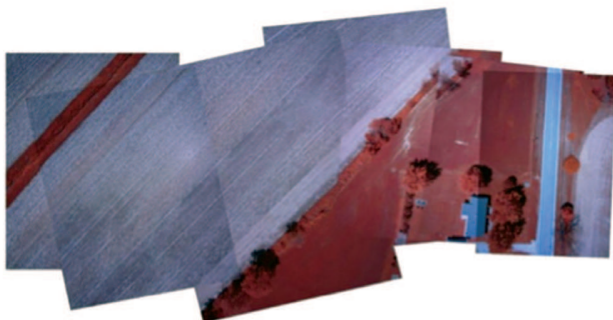


Fig. 4 Mosaico de imágenes obtenidas por Drone.
 Fuente: OpenDroneMap y El Autor.

Otras características son los **sensores multispectrales** de alta resolución como los sensores de Airinov o Parrot, cuya respuesta se asemeja a lo observado en la Fig. 5. Las características de este tipo de sensores son:

- El **Multispec 4C** de AIRINOV: es un sensor multispectral diseñado especialmente para agricultura. Tiene una resolución en suelo de 5 – 15cm /px y está equipado con un lente gran angular; además, permite la corrección de la señal de reflectancia [21].
- El **Parrot Sequoia**: es un sensor multispectral del tamaño de una cámara GoPro que posee cuatro bandas multispectrales (verde, rojo, rojo de punta e infrarrojo cercano) implementadas para determinar la salud del cultivo [22].

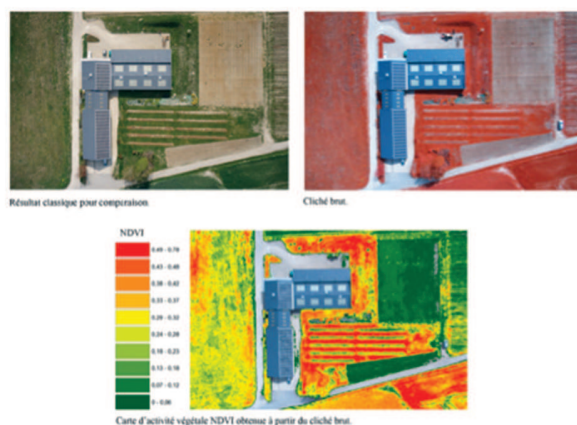


Fig. 5 Comparación de la imagen RGB, Infrarrojo y NDVI. [20]

Otros sensores multispectrales de la marca Tetracam son:

- Cámara multispectral Tetracam ADC Micro, Snap, Air, Lite, FX y Micro-MCA.
- Sensor de luz incidente.

La Fig. 6 muestra el comportamiento particular de una vegetación específica en un periodo de tiempo determinado, mediante el uso de los sensores multispectrales, software especializado y el análisis estadístico. Los píxeles se clasifican de acuerdo al nivel digital que presentan y se obtienen grandes grupos de píxeles que presentan niveles digitales parecidos; permitiendo la clasificación entre coberturas, o en el caso de la agricultura de precisión, las características de las plantas y las condiciones ambientales como el estrés por sequía [23], [24], [25].

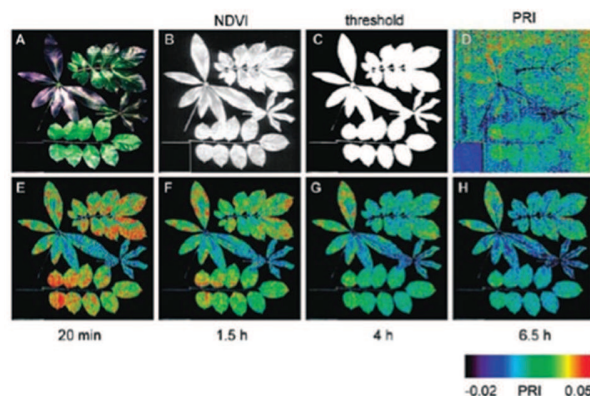


Fig. 6 Procesamiento de Índice de reflectancia de cuatro hojas tropicales durante el proceso de secado. [23]

También están los sensores térmicos y radio rastreadores que ayudan a la precisión de los datos.

- **ThermoMAP**: es un sensor térmico que permite capturar videos e imágenes fijas para crear mapas térmicos completos del cultivo [26].
- **Radio rastreador**: permite ubicar y rastrear en tiempo real el dron por si se pierde o sale del radio de alcance.

Gracias a este sensor se puede recopilar información de los cultivos y otras coberturas para comprobar la

evolución de la temperatura del sector en estudio como se observa en la orto imagen térmica de la Fig. 7.

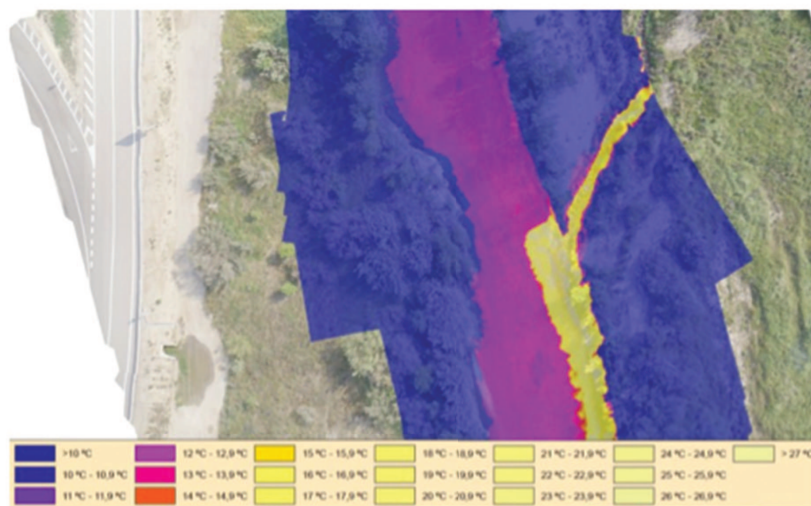


Fig. 7 Ortoimagen térmica de un río tomada por un Dron. [27]

Tal como se observa en la Fig. 8, a partir de estos sensores es posible identificar crecimiento celular relacionado con el crecimiento de la

vegetación, y llegar a análisis estadísticos que permiten evaluar más apropiadamente los cultivos [27], [28].

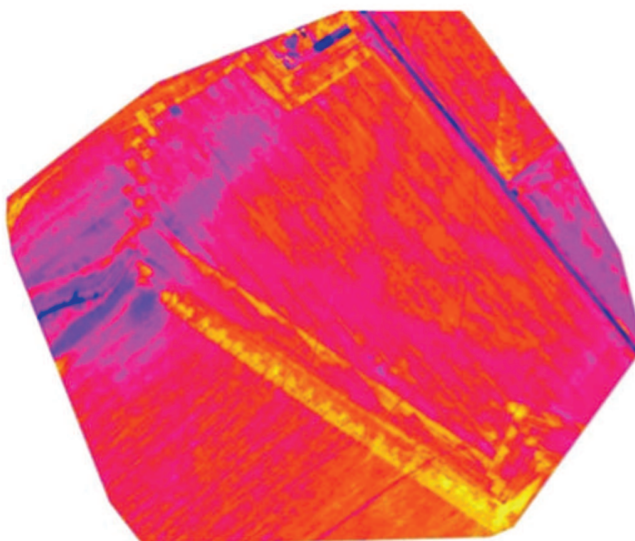


Fig. 8 Índice de Crecimiento Vegetativo con SIG y Drone. [27]

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Metodología

Las metodologías aplicadas a la agricultura de precisión varían según las personas o las empresas que realizan los procedimientos; sin embargo, en general, todos los métodos tienen tres fases primordiales:

- Operación
- Posproceso
- Aplicación a los cultivos

Por medio de estas fases se desarrolla un proyecto de agricultura de precisión acorde con las necesidades de los cultivos y personas que los manejan, encontrando de manera eficiente las problemáticas que acechan a los cultivos y cómo prevenirlas.

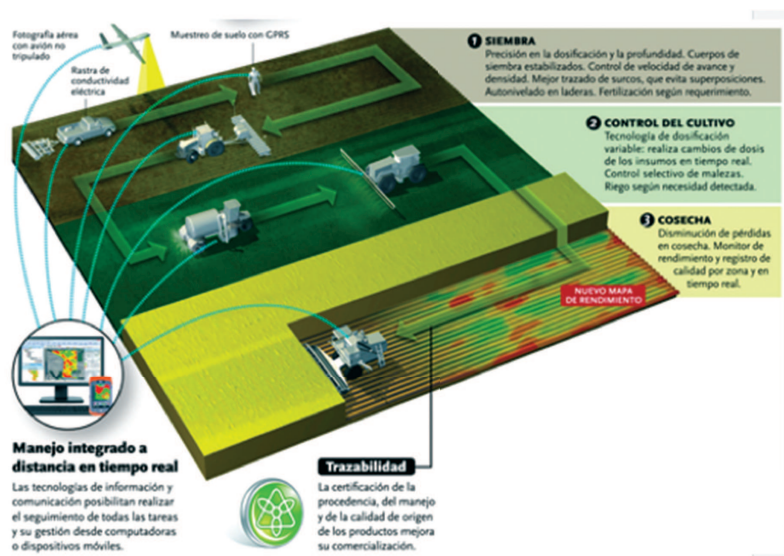


Fig. 9 Proceso de Agricultura de Precisión. [29]

1) Operación: en esta fase se realiza la monitorización del área seleccionada a través de la detección de las variables de importancia para el estudio; aquí también se planifica el vuelo y la obtención de imágenes de resolución óptima por cultivo.

Igualmente, se implementan los drones y los UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*) para realizar los vuelos; preferiblemente se busca que sean autónomos y, de la misma forma, que recolecten datos e imágenes [30].

Para esta fase es importante tener definida la totalidad del área de estudio, con el fin de asignar las líneas de vuelo que cubran toda la zona por analizar, estimando, además, el tiempo de vuelo y la cantidad de información capturada, así como, los sensores y equipos más adecuados por utilizar, fig. 10.



Fig. 10 Software Mission Planner – Plan de Vuelo en el campo de fútbol de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá.

2) Posproceso: en esta etapa se realiza el tratamiento de las imágenes previamente obtenidas por el dron y se generan las imágenes NDVI térmicas y multiespectrales de la zona para valorar el estado

de los cultivos; con esta información se procede a elaborar los mapas con los datos de importancia para los agricultores y así poder actuar con base en las decisiones tomadas.

Para la generación del NDVI es importante tener la imagen en color verdadero; es decir, el RGB en el que la banda del rojo es combinada con la banda infrarroja; donde el análisis esperado se trabajara con infrarrojo cercano, lejano o térmico y el resultado permite evaluar la salud de la vegetación planta por planta, hoja por hoja, de acuerdo con la resolución espacial, que es la equivalencia del tamaño de pixel en terreno que presente el sensor.

En la Fig. 11 se evidencia un modelo hipsométrico que varía en tonalidades de rojo a verde, teniendo una escala de alto a bajo.

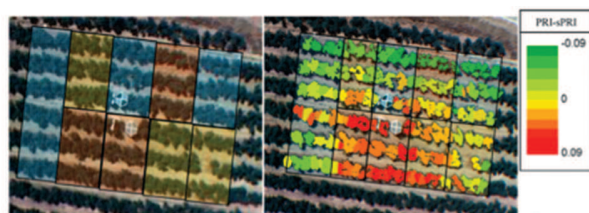


Fig. 11 Detección del estrés del cultivo usando el Índice de Reflectancia Fotoquímica. [31]

Del mismo modo, en la Fig. 12 se observa el comportamiento de la vegetación vs. el suelo desnudo, donde la vegetación resalta por su alta reflectancia en infrarrojo.

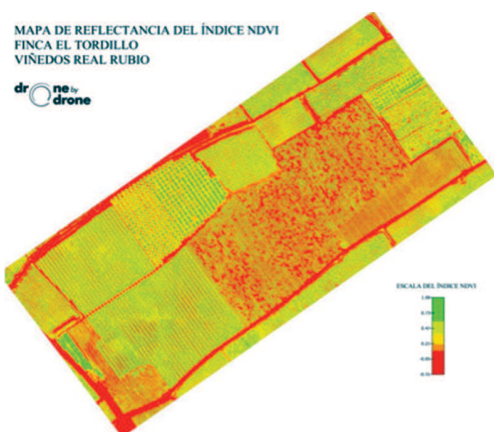


Fig. 12 Mapa de reflectancia del índice NDVI. [32]

3) Aplicación a los cultivos: en esta última etapa se actúa teniendo en cuenta lo que se muestra en los mapas, los cuales sirven como ayuda para detectar los problemas que sufre la vegetación y los cultivos; así mismo, se determina la forma de actuar con base en la evaluación de la rentabilidad económica y medioambiental con la finalidad de que el área que se está tratando sea más productiva conforme a los años [33], tal como se identifica en la Fig. 13.

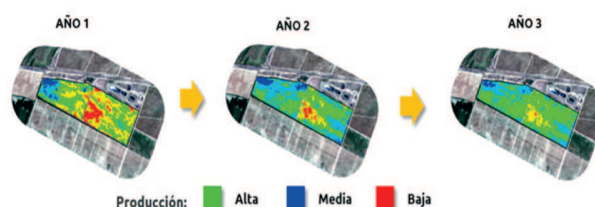


Fig. 13 Visualización y monitoreo de problemas relacionados con abono, riego, poda y crecimiento en un cultivo por tres años. [33]

B. Casos de estudio

1) Importancia de la teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados para apoyar la agricultura de precisión en Indonesia: hoy día, en el mercado de la información geográfica de Indonesia, la aplicación de la industria de la teledetección para apoyar la agricultura, la silvicultura y la acuicultura ha aumentado. En general, estas aplicaciones u órdenes se cumplen por imágenes satelitales aplicando técnicas de teledetección [34]. Lo anterior, debido al coste de producción y a la condición de infraestructuras limitadas en el campo. Por desgracia, muchos ven la industria de la teledetección de Indonesia solo como un agente de venta y no tienen ninguna plataforma de suministro de imágenes por sí mismo. Además, todavía no puede cumplir con algunas aplicaciones, como la supervisión de los árboles individuales o la alta resolución de las imágenes de satélite. Una de las ventajas de la fotografía aérea en comparación con las imágenes de satélite radica en que puede ser utilizada para observar cada estructura de los árboles individuales [35]. En la Fig. 14 se presenta la

comparación en cuanto a resolución espacial entre una imagen *QuickBird* de 6 cm de resolución espacial, en contraste con la misma zona en una

fotografía aérea de 5 mm de resolución espacial; ciertamente, en una de ellas es posible discriminar y categorizar lo elementos con mayor precisión.

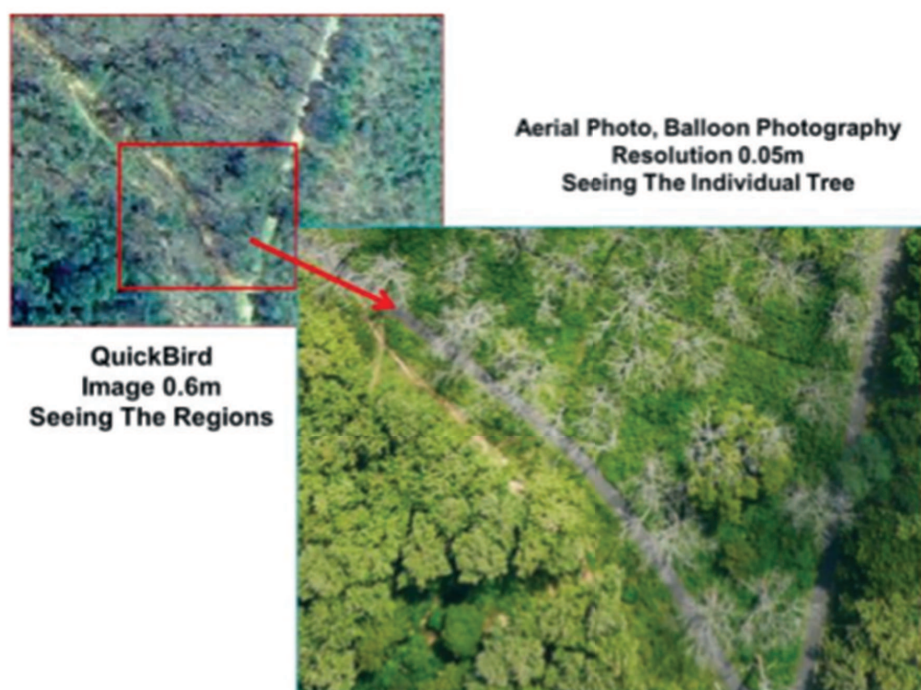


Fig. 14 Comparación entre el satélite de alta resolución y fotografías aéreas en el bosque de madera de teca. [36]

2) Aplicación en la plantación de palma de aceite: el caso de estudio se encuentra en la plantación de palma de aceite propiedad de PT Eka Jabontara en Berau de Kalimantan Oriental. El propósito de estas actividades de mapeo es apoyar el cálculo de soporte por hectárea (SPH) o de la palmera como individuo que se puede medir a partir de la imagen. En la Fig. 15 se muestra que el producto base puede ser una ortofoto, y la interpretación es posible llegando a la medición de árboles individuales [36].



Fig. 15 Ejemplos de productos de mapeo para árboles de conteo de aceite de palma. [36]

Algunas notas respecto de la cartografía de las plantaciones de palma de aceite que utiliza esta técnica son:

- En general, es importante la capacidad para contar el árbol individual en lugar de la precisión absoluta de coordinar. El conteo de los árboles se realiza por la interpretación visual basada en el dosel. Por lo tanto, en el futuro, el reto es construir un método automático para este conteo.
- A veces, los árboles de palma de aceite se siembran en medio de las zonas forestales o, en ocasiones, el árbol es demasiado joven o demasiado pequeño para poderse ver. De ahí, las diferencias entre el resultado del recuento de árboles frente a las notas presentadas.
- Para el futuro, es necesario mejorar el tiempo de la precisión apoyados de la informática, para el conteo del árbol. Al menos se debe obtener más de 95% de precisión en la interpretación.

El trabajo aquí expuesto es de gran relevancia, puesto que da a conocer algunas experiencias prácticas sobre el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) como apoyo en el mapeo de agricultura de precisión efectiva [37]. La plataforma aérea lleva una cámara digital de bolsillo con la cual se obtienen las imágenes de sus sensores. Los dos productos básicos del sistema son de ortofotos y modelos digitales de elevación (punto de enturbiamiento 3D) con una precisión de hasta 2 píxeles de error para la posición horizontal y 5 píxeles de error para la vertical. A partir del producto orto foto que muestra información planimétrica, la superficie de la parcela y el diámetro de copa se pueden medir, mientras que desde el modelo 3D o de elevación digital el producto modelo puede ser interpretado para obtener información relacionada con las estructuras de vegetación o de árboles, tales como, la altura del árbol. Para el futuro, lo que se necesita es desarrollar la fórmula para encontrar la relación entre los parámetros estructurales de las plantas individuo

(dosel, altura, densidad) que se pueden medir mediante este sistema con el repertorio potencial de la vegetación estudiada [36].

3) Probando el potencial de los drones como una herramienta para el monitoreo forestal a largo plazo: los datos de biodiversidad de alta calidad sobre las distribuciones de especies y su integración con las variables ambientales son fundamentales para abordar preguntas de investigación básica en ecología, para el seguimiento de cambios en la biodiversidad y para el desarrollo de acciones efectivas de conservación. A pesar de que se adquiere gran conocimiento por la cantidad de tiempo que se pasa en el campo, los estudios de campo tradicionales pueden ser agotadores y costosos [38] [39]. Por ejemplo, un equipo de campo de 12 a 14 individuos tomó 3 años para completar el primer censo de árboles de una dinámica forestal con parcelas de 50 hectáreas en la isla de Barro Colorado, Panamá. Los costos para establecer parcelas similares se estiman en alrededor de US\$ 100.000 a US\$ 500.000 [40]. Mediciones y seguimientos adicionales de la altura del árbol, la apertura del dosel, la perturbación del bosque y otros parámetros forestales están limitados por el trabajo humano disponible y por los recursos financieros. Este estudio se realizó en un bosque de 20 hectáreas (500 m x 400 m) parcela dinámica en la Reserva Natural Nacional (DHS) Dinghushan (23 ° 09'- 23 ° 11'N, 112 ° 30'-112 ° 33'E) en el sur de China, Fig. 16.

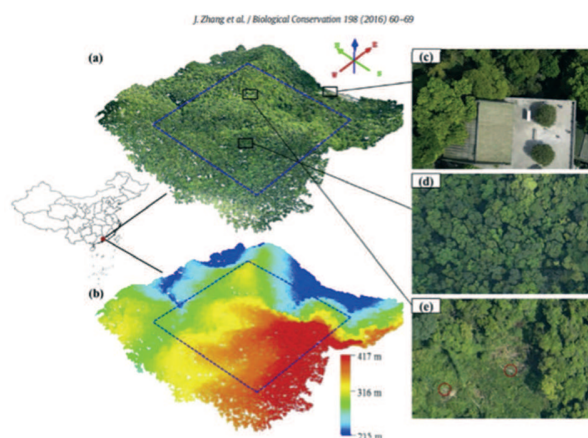


Fig. 16 Ubicación geográfica del área de estudio en la reserva natural nacional de Dinghushan, Sur de China. [42]

La reserva DHS, que fue establecida en 1956 como la primera reserva natural de China, abarca aproximadamente 1,155 hectáreas de bosques con elevaciones que van de 14,1 m a los 1000.3 m sobre el nivel del mar. Esta reserva se unió a la Red Internacional de Reserva de la Biosfera y el Hombre (MAB) como punto mundial de acceso de conservación en 1979. La región se caracteriza por un clima sur subtropical monzónico, con una temperatura media anual de 20,8° C, y temperaturas medias mensuales que oscilan entre 12,6° C en enero a 28° C en julio [41]. La precipitación media anual es de 1.929 mm, con más precipitación que se produce entre abril y septiembre. La media anual de la evaporación es de 1115 mm, con una humedad relativa promedio de 80% [41]. La vegetación está cubierta principalmente por hojas perennes del bosque latifoliado bien protegido del monzón. En contraste con los bosques alterados circundantes, la reserva contiene bosques primarios raros de por lo menos 400 años de edad que fueron conservados por los monjes en el templo budista cerca de la parcela [42].

Los componentes de la Fig. 16, son: (a) La fotografía aérea de nuestra área de estudio. Las líneas azules discontinuas representan el límite de 20-ha (400 m × 500 m) y la dinámica de la parcela del

bosque. (b) El mapa de nube de puntos para el DSM de la región cubierta por el reconocimiento aéreo con el avión no tripulado. (c) Esta imagen muestra el templo budista utilizado para el despegue y el aterrizaje. (d) Aquí se observa un área pequeña con cierre de dosel ocupado por múltiples especies, mientras que (e) ilustra una zona con dosel abierto. Los dos círculos rojos en (e) resaltan la ubicación de las dos trampas de semillas a nivel del suelo.

4) Estudio con un avión no tripulado – Dron:

Se usa el pequeño Dron MD4-1000 de la marca Microdrones para reconocimiento aéreo de la parcela de 20 hectáreas. Este UAV pesa 2,65 kg, tiene una velocidad que cruza 12 m/s, la duración máxima de vuelo es de 88 min sin carga útil en condiciones meteorológicas óptimas y la masa de la carga útil máxima es de 1,2 kg. Este *quadcopter* o dron puede volar por control remoto o de forma autónoma con la ayuda de su receptor GPS y su sistema de navegación *waypoint*. Una cámara Sony NEX-5 de foto fija fue montada en la parte inferior del dron para lograr imágenes aéreas, Fig. 17. Un miembro del equipo utilizó este sistema durante más de 200 misiones exitosas que investigan los cambios de cobertura del suelo y la dinámica de la vegetación.

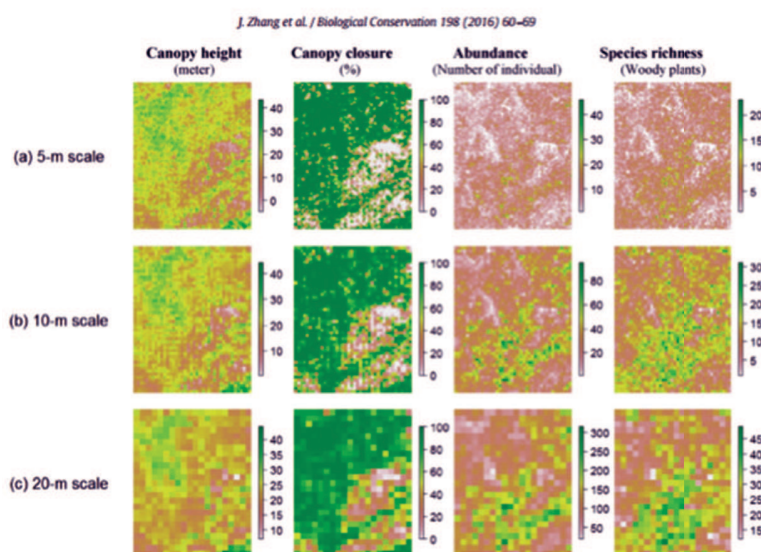


Fig. 17 Mapas de altura tomadas con un dron, derivado del dosel, el cierre y la abundancia de plantas leñosas y riqueza de especies generada a partir de los datos de inventario de la tierra en tres escalas especiales, 5m, 10m y 20m respectivamente. [42]

Las fotografías aéreas se procesan generando orto imágenes georreferenciadas, un modelo digital de superficie (DSM) y las nubes de puntos utilizando el software fotogramétrico “Pix4dmapper”, que ha sido ampliamente usado para la fotogrametría de los UAV. Sobre la base de las imágenes aéreas recogidas del dron, se seleccionaron nueve puntos de control terrestre (GCP) para la geo corrección de la nube de puntos [43]. Las ubicaciones XYZ de cada GCP se midieron usando un *Trimble* GPS RTK (cinemática en tiempo real) a 1 m de precisión (UTM Zona 49 N, WGS84 datum horizontal) [42].

5) Dron ecológico y el seguimiento del ecosistema a largo plazo: se demuestra, a manera de ejemplo, cómo las variables derivadas de aviones no tripulados pueden contribuir a la comprensión de la biodiversidad y al mantenimiento de la coexistencia

de especies para una amplia parcela de bosque subtropical. Claramente, los drones tienen un gran potencial para proporcionar avances en el mapeo y monitoreo de la dinámica del bosque. En comparación con las técnicas de teledetección satelitales y medios aéreos, los drones recogen los datos con una resolución espacial de ultra-alta (por ejemplo, cerca de 5 cm de nuestro estudio) de una manera rentable [44] [45], que pueden ser utilizados para medir algunos atributos soporte clave que se han demostrado por unos pocos ([46][47]) estudios recientes de drones en los ecosistemas forestales. El análisis también mostró que las imágenes de dron de la parcela de estudio coinciden muy bien con los puntos de referencia en tierra, con la precisión de 32-44 RMSE. Alta precisión entre las imágenes y los drones de tierra también se informó en boreal [47] y los bosques templados [44] [45].

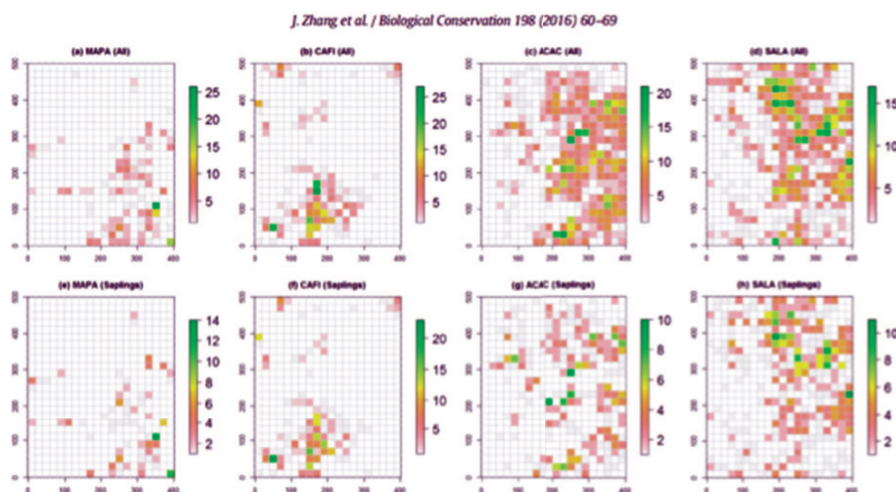


Fig. 18 Distribución espacial de abundancia de especies a 20 m. [42]

El uso de aviones no tripulados en este proyecto identificó varias advertencias y desafíos prácticos que deben tenerse en cuenta para futuros estudios. En primer lugar, los datos del terreno, recogidos del campo, pueden no coincidir espacialmente con el modelo digital de superficie (DSM) generado desde el dron. Siguiendo los protocolos estándar de la red CTFS-*ForestGEO* [40], casi todos los de más de 60 parcelas han tenido variables tróficas medidas en

la escala de 20 m. Existen algunos errores de este enfoque, especialmente para las parcelas con grandes rangos de topografía. Aunque se seleccionaron 9 puntos de control en tierra para la geo corrección de la nube de puntos y los resultados mostraron una alta precisión de estos puntos de control, la estimación de los datos de la altura del dosel se afectó por los datos DEM en tierras relativamente gruesas (4,28 m de RMSE al interpolar a 1 escala -m). Esta

preocupación también se ha aumentado en los últimos estudios de drones en los bosques de hoja caduca [44], [45] y los bosques tropicales [46]. A pesar de esta limitación, los análisis de este estudio en la escala de 20 m siguen mostrándose sólidos para explicar las variaciones de la biodiversidad en escala local y otros atributos soportados.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las variables derivadas del dosel con drones, atributos de nivel/espera, variables topográficas y edáficas variaron en gran medida en las tres escalas espaciales. En la escala de 20 m, la riqueza de especies varió de 12 a 49 con soporte de área basal que varía de 5,5 m² ha⁻¹ a 64,9 m² h⁻¹. Para las variables de dosel con drones, la altura del dosel varió de 7,0 m a 44,3 m de densidad de fronda que varía de dosel abierto (0%) para cerrar completamente el dosel (100%) y un promedio general de 73,5%, se estima que con el dosel a una abertura aproximada del 70% es apropiada para cualquier vegetación sin importar la densidad, sin embargo la altura de dosel si es proporcional a la altura promedio de la vegetación. En la comparación de los patrones espaciales de estas variables en tres escalas, se detectó un patrón similar entre la altura del dosel y el cierre del dosel: los doseles altos y cercanos se encuentran en la esquina noroeste de la trama, mientras marquesinas bajas y abiertas están en la esquina sureste.

Es un hecho que a partir de drones se puede obtener la especialización de los elementos presentes en un área de interés definida; para el caso de fincas, son de gran ayuda para el análisis de cultivos y la toma de decisiones apropiadas y pertinentes para mejorar la productividad del sector agro. En caso de problemáticas en terreno, con el soporte de los drones se llega a soluciones integrales y de mayor efectividad.

Con la correcta utilización de imágenes multiespectrales obtenidas de dron, existe una aproximación a lo que sería una radiografía de los cultivos, identificando problemas que alteran el buen comportamiento de los

mismos y que a simple vista no se ven; esto facilita una gestión inmediata, para apoyar de manera adecuada en la productividad de los cultivos, permitiendo también el uso de agroquímicos u otros insumos que aportan a su buen desarrollo, en el momento preciso. Un adecuado análisis de las imágenes obtenidas, previene problemas como plagas, estrés hídrico, estrés por nitrógeno, entre otros.

Tanto la teledetección como la fotogrametría moderna son ciencias (que si bien sus principios no se basan en el agro) de gran ayuda y utilidad en todo este tipo de procesos, aportando en todas las fases de un cultivo. Principalmente, a partir de técnicas apropiadas de interpretación del territorio, es posible determinar qué áreas son cultivables de acuerdo con el tipo de suelo y sus características y más aún se puede determinar en qué tiempos y qué tipo de cultivo es más apropiado en una zona predefinida; en la fase del cultivo se puede hacer un seguimiento y monitoreo de los cultivos con el fin de ver su comportamiento, en cada una de sus etapas, teniendo la posibilidad de tomar decisiones idóneas en momentos críticos que pudieran poner en riesgo la productividad y calidad de los cultivos.

Actualmente, es posible encontrar en el mercado imágenes satelitales gratuitas, drones de un costo no tan elevado y, del mismo modo, sensores más potentes y de precios más cómodos, de los cuales es posible extraer más información del espectro electromagnético y con resoluciones más precisas por banda, discriminando con mayor detalle el espectro visible, infrarrojos y térmicos, entre otros; así se posibilita la realización de composiciones y usos adecuados de estas bandas espectrales para precisar el estado actual del cultivo e identificar algunos tipos de problemáticas que sufren las plantas o de lo contrario estimar la posible productividad de la tierra a futuro.

Existe la necesidad hoy en día de mejorar servicios que integren la tecnología a procesos informales que muchas veces se presentan en el agro que, como se ha visto en el artículo, se traducen en sobrecostos, bajas en la productividad y procedimientos

exhaustivos en los que muchas tareas pueden ser parametrizadas para que el productor no tenga que hacer tanto trabajo de campo y sea más productivo mejorando el rendimiento del mismo estudiando la totalidad de sus cultivos y capacitándose en tecnologías modernas que permiten identificar los procesos y estados de los campos.

Los drones tienen una gran ventaja y es su alta resolución a comparación de imágenes satelitales de *open data*. Como otro factor muy favorable se tiene que no presentan ningún conflicto con las nubes, un problema que en Colombia se da con mucha frecuencia en más del 70 % del territorio nacional; sin embargo, un factor que desfavorece la utilización de drones es la autonomía de vuelo, y esto reduce considerablemente la información capturada respecto del tiempo. No obstante, existen alternativas que aún no se han propuesto y que pueden mitigar esta deficiencia, y se relacionan directamente con la operatividad entre drones, como lo pueden ser redes inalámbricas para drones cumpliendo líneas y diseños de vuelo mejor parametrizados, para mayor cobertura y capacidad de maniobra en cuanto a los datos que se han de capturar.

Se ve la necesidad de que los actuales profesionales de las ciencias agropecuarias se apoyen en técnicas de percepción remota para validar todos los conocimientos que poseen y que muchas veces se evidencian en la fenología de las plantas. Es claro, que con un apropiado ejercicio y apropiación de estas técnicas se podría omitir en ocasiones el trabajo de campo, y llegar a soluciones inmediatas y de mayor precisión en estudios de cultivos particulares.

REFERENCIAS

- [1] L. Koh, S. Wich, "Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation", 2012.
- [2] J. McGlone, "Manual of Photogrammetry", 2013
- [3] J. Paneque-Gálvez, M. McCall, B. Napoletano, S. Wich, L. Koh, "Small drones for community-based forest monitoring: an assessment of their feasibility and potential in tropical areas", 2014
- [4] P.J. Zarco-Tejada, M. Guillen, R. Hernandez, A. Catalina, M. Gonzalez, P. Martin, "Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV)", 2013.
- [5] E. Plant, "Combining expert system and GIS technology to implement a state-transition model of oak woodlands", 2000.
- [6] M. Simard, N. Pinto, J. Fisher, A. Baccini, "Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar", 2011.
- [7] E. Næsset, H. Ørka, S. Solberg, O. Bollandsås, E. Hansen, E. Maurya, E. Zahabu, R. Malimbwi, N. Chamuya, H. Olsson, T. Gobakken, "Mapping and estimating forest area and above-ground biomass in miombo woodlands in Tanzania using data from airborne laser scanning, TanDEM-X, RapidEye, and global forest maps: A comparison of estimated precision", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 175, Marzo, 2016, pp. 282-300.
- [8] R. Liu, R. Shang, Y. Liu, X. Lu, "Global evaluation of gap-filling approaches for seasonal NDVI with considering vegetation growth trajectory, protection of key point, noise resistance and curve stability", 2016.
- [9] S. Roy, T. Rowlandson, A. Berg, Catherine Champagne, Justin R. Adams, "Impact of sub-pixel heterogeneity on modelled brightness temperature for an agricultural region", 2016.
- [10] M. Elarab, A. Ticlavilca, A. Torres, I. Maslova, M. McKee, "Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture", 2015.
- [11] P. Mondal, M. Basu, "Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies", *Progress in Natural Science*, Vol. 19, no. 6, pp.659-666, 2009.
- [12] DAMS SRL. (2016). Agricultura. [Online]. Available: <http://www.dams.com.ar/agricultura/#la-ciencia-detras-del-analisis>
- [13] T. Lillesand, R. Kiefer, J. Chipman., "Remote Sensing And Image Interpretation", 2004.
- [14] K. Mollazade, "Book review of "Imaging with electromagnetic spectrum: Applications in food and agriculture"", *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 50, 2016, pp. 262-263.
- [15] R. Páscoa, M. Lopo, C. Teixeira, A. Graça, J. Lopes, "Exploratory study on vineyards soil mapping by visible/near-infrared spectroscopy of grapevine leaves", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 127, Septiembre, 2016, pp 15-25.
- [16] J. Díaz, "Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde Uas/Rpas y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Madrid", 2015.
- [17] G. Rock, M. Gerhards, M. Schlerf, C. Hecker, T. Udelhoven, "Plant species discrimination using emissive thermal infrared imaging spectroscopy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 53, 2016, pp. 16-26.
- [18] B.Rao, A. Gopi, R. Maione, "The societal impact of commercial drones", *Technology in Society*, Vol. 45, pp. 83-90, Mayo, 2016.
- [19] K. Siva Balan, "Robotic-Based Agriculture for Rural Renaissance: Drones and Biosensors", *Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol. 74, 2016, pp. 363-375.
- [20] Drones Imaging. (2013). NDVI Cameras [Online]. Available: <http://www.dronesimaging.com/en/solutions/ndvi-cameras/>

- [21] Airinov, (2016). Airinov multiSPEC 4C pour multiro-tors (anciennement AgroSensor). [Online]. Available: <https://odoo.airinov.fr/shop/product/airinov-multispec-4c-pour-multiro-tors-anciennement-agrosensor-36>
- [22] S. Parrot, (2016). Parrot SEQUOIA. [Online]. Available: <https://www.parrot.com/us/Business-solutions/parrot-sequoia#parrot-sequoia->
- [23] Surface Optics Corporation. (2016). Agricultura de precisión y sensores hiperespectrales: Vigilancia contra la sequía, enfermedad y estrés de nutrientes. [Online]. Available: <http://www.precisiontech.com.ar/?p=215>
- [24] R. Moschetti, P. Haff, D. Monarca, M. Cecchini, R. Massantini, "Near-infrared spectroscopy for detection of hailstorm damage on olive fruit", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 120, Octubre, 2016, pp. 204-212.
- [25] M. Buitrago, T. Groen, C. Hecker, A. Skidmore, "Changes in thermal infrared spectra of plants caused by temperature and water stress", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 111, pp. 22-31.
- [26] SenseFly. (2016). thermoMAP. [Online]. Available: <https://www.sensefly.com/drones/accessories.html>
- [27] J. Ruiz. (2016). Sistemas de información geográfica y drones. [Online]. Available: <http://www.ideyared.es/blog/2016/04/25/sistemas-de-informacion-geografica-y-drones/>
- [28] N. An, C. Palmer, R. Baker, R. Markelz, M. Covington, J. Mallof, S. Welch, C. Weinig, "Plant high-throughput phenotyping using photogrammetry and imaging techniques to measure leaf length and rosette area", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 127, Septiembre, 2016, pp. 376-394.
- [29] INTA. (2014, Febrero 12). La Argentina consolida su liderazgo en agricultura de precisión. [Online]. Available: <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=20305>
- [30] K. Ribeiro, D. Hernandez, R. Ballesteros, M. Moreno, "Approximate georeferencing and automatic blurred image detection to reduce the costs of UAV use in environmental and agricultural applications", *Biosystems Engineering*, Vol. 151, Noviembre, 2016, pp. 308-327.
- [31] SPIE. (2016). A new era in remote sensing of crops with unmanned robots. [Online]. Available: <http://spie.org/newsroom/1438-a-new-era-in-remote-sensing-of-crops-with-unmanned-robots>
- [32] Drone By Drone S.L. (2015, Octubre 14). Mapa de reflectancia del índice agrónomo NDVI en bodegas de la rioja. [Online]. Available: <http://www.dronebydrone.com/noticias/90/mapa-de-reflectancia-del-ndice-agronomico-ndvi-en-bodegas-de-la-rioja.html>
- [33] Hemav. (2016). Agricultura de precisión. [Online]. Available: <http://hemav.com/servicio/agricultura-de-precision/>
- [34] S. Saleem, A. Bais, R. Sablatnig, "Towards feature points based image matching between satellite imagery and aerial photographs of agriculture land", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 126, Agosto, 2016, pp. 12-20.
- [35] C. Rokhmana. (2015, Mayo 22). Agricultura de precisión: del azadón al GPS. [Online]. Available: <http://www.dinero.com/especiales-comerciales/articulo/agricultura-precision-del-azadon-gps/208779>.
- [36] C. Rokhmana, "The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia", *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 24, 2015, pp. 245-253.
- [37] L. Santesteban, S. Di Gennaro, A. Herrero, C. Miranda, J.B. Royo, A. Matese, "High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard", *Agricultural Water Management*, Septiembre, 2016.
- [38] J. Lawton, D.E. Bignell, B. Bolton, G. Bloemers, P. Eggleton, P. Hammond, M. Hodda, R. Holt, T. Larsen, N. Mawdsley, N. Stork, D. Srivastava, A. Watt, "Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest", 1998.
- [39] T. Gardner, J. Barlow, I. Araujo, T. Avila-Pires, A. Bonaldo, J. Costa, M. Esposito, L. Ferreira, J. Hawes, M. Hernandez, M. Hoogmoed, R. Leite, N. Lo-Man-Hung, J. Malcolm, M. Martins, L. Mestre, R. Miranda-Santos, W. Overal, L. Parry, S. Peters, M. Ribeiro, M. da Silva, C. Motta, C. Peres, "The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests", 2008.
- [40] R. Condit, "Tropical Forest Census Plots Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots", 1998.
- [41] Z. Huang, M. Meng, Y. Zhang, "Climate of Dinghushan Biosphere Reserve", 1998.
- [42] J. Zhanga, J. Hud, J. Liane, Z. Fane, X. Ouyange, W. Yee, "Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring", *Biological Conservation*, Vol. 198, Junio, 2016, pp. 60-69.
- [43] G. Zhao, H. Hoffmann, J. Yeluripati, S. Xenia, C. Nendel, E. Coucheney, M. Kuhnert, F. Tao, J. Constantin, H. Raynal, E. Teixeira, B. Grosz, L. Doro, R. Kiese, H. Eckersten, E. Haas, D. Cammarano, B. Kassie, M. Moriondo, G. Trombi, M. Bindi, "Evaluating the precision of eight spatial sampling schemes in estimating regional means of simulated yield for two crops", *Environmental Modelling & Software*, Vol. 80, Junio, 2016, pp. 100-112.
- [44] S. Getzin, K. Wiegand, I. Schöning, "Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles", 2011.
- [45] J. Dandois, E. Ellis, "Remote sensing of vegetation structure using computer vision", 2010.
- [46] R. Zahawi, J. Dandois, K. Holl, D. Nadwodny, J. Reid, E. Ellis, "Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery", 2015.
- [47] S. Puliiti, H. Orka, T. Gobakken, E. Naesset, "Inventory of small forest areas using an Unmanned Aerial System", 2015.

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL ALGODÓN

DETERMINATION OF WATER FOOTPRINT OF COTTON



¹Oscar D. Díaz Fonseca, ²Juan A. Lizarazo Ariza, ³Jesús A. Torres Ortega

Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia

¹oddf64@unisalle.edu.co

²ljuan29@unisalle.edu.co

³jatorres@unisalle.edu.co

Recibido: 24/07/2015 • Aprobado: 15/09/2016

RESUMEN

La huella hídrica es un indicador en el ámbito mundial por ser la principal herramienta para identificar de manera cuantitativa la relación del hombre con el agua, y sus posibles impactos sobre el recurso hídrico. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la huella hídrica del cultivo de algodón en un predio del municipio de Natagaima localizado en el departamento de Tolima. Se optó por una metodología cualitativa y cuantitativa, seccionada en tres fases, con el fin de determinar la presión ejercida sobre el recurso hídrico debido a la actividad agrícola del cultivo de algodón. La primera fase consistió en el diagnóstico de los ciclos de consumo de agua en el proceso productivo del cultivo de algodón. En la segunda fase, mediante la simulación del programa CropWat 8.0, se calculó la huella hídrica total (azul, verde y gris) del cultivo de algodón teniendo en cuenta los datos de la estación meteorológica Anchique, facilitados por el IDEAM. Y, por último, en la fase 3, se realizaron los respectivos análisis, para así reconocer los procesos antrópicos que afectan en cada tipo de huella las actividades agrarias para un cultivo de algodón. Se propuso la implementación del sistema de riego para la compensación hídrica del cultivo de algodón en las épocas más críticas, recomendando el sistema de riego por goteo por tener este un mayor rendimiento y ser más eficiente en la distribución del agua con mínimos costos de inversión, lo que genera mayor cobertura al campo de cultivo de algodón.

Palabras clave: agua, azul, gris, hídrica, lluvia verde, virtual.

ABSTRACT

The water footprint is a reference indicator worldwide to be the main tool to identify quantitatively the relationship between man and water and its potential impacts on the water resource. This research was conducted with the objective of determining the water footprint of cotton growing in an area of the municipality of Natagaima, located in the department of Tolima.

It was decided in favor of a qualitative and quantitative methodology, sectioned in three phases in order to determine the pressure on the water resource due to the agricultural activity of cotton cultivation. The first phase consisted in the diagnosis of the cycles of water consumption in the production process of cotton

growing. In the second phase, through the simulation of the program CropWat 8.0, it was calculated the water footprint total (blue, green and gray) of cotton growing taking into account the data from the weather station Anchique, facilitated by the Ideam. And finally, in phase 3, the respective analyses were performed to thus recognize the anthropic processes that affect agricultural work for a cotton crop in each type of footprint. It was proposed the implementation of an irrigation system for the compensation of water of cotton cultivation in the most critical times, recommending the drip irrigation system for its greater performance and efficiency in the distribution of water with minimal investment costs, and which provides greater coverage to the field of cotton crop.

Keywords: blue, gray, green, hydric, rain, virtual, water.



I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca determinar la huella hídrica para el cultivo de algodón en un predio del municipio de Natagaima, uno de los 48 municipios del departamento de Tolima (Colombia), al cual se llega partiendo de la Capital del departamento, rumbo al Sureste, por la vía que conduce a la ciudad de Bogotá, hasta el municipio de El Espinal, donde se encuentra la vía pavimentada que conduce a Neiva en dirección Sur, pasando por las localidades de Guamo, Saldaña, Castilla, hasta llegar a su cabecera municipal, en un trayecto de 118 Km [1]. El municipio de Natagaima tiene un área de 86.683 hectáreas aproximadamente, de las cuales 196,32 Ha (hectárea) corresponden al casco urbano, 118.52 Ha a los centros poblados rurales, 2.454 Ha a los cuerpos de agua y las restantes 83.914,16 Ha al sector rural; adicionalmente, los cuerpos de agua con gran relevancia al municipio son el río Magdalena y la quebrada Naturco.

Para el estudio en mención, se realizó el diagnóstico hídrico en todo el proceso del cultivo y se establecieron cada una de las huellas hídricas correspondientes a la lluvia, la usada para disolver los agroquímicos y la tomada de aguas superficiales; igualmente, se estableció la huella hídrica total (sumatoria de las huellas verde, azul y gris) del periodo del cultivo de algodón.

Con los resultados obtenidos para la huella hídrica total para el predio, se plantearon alternativas

que buscaban cumplir con la satisfacción hídrica del cultivo, además de un uso adecuado y sostenible del recurso hídrico. Se determinó que el 60% del requerimiento hídrico se satisface por las precipitaciones del lugar de estudio; sin embargo, el porcentaje restante se debe suplir mediante un sistema de riego para que el proceso productivo no se vea afectado [2].

El estudio de la huella hídrica del cultivo de algodón es un tópico novedoso ya que no se presenta ningún registro nacional de algún trabajo específico del mismo (Fig. 1).



Fig. 1 Cultivo de algodón [2]

Los métodos utilizados para la recopilación de datos sobre el proceso del cultivo de algodón fueron, por una parte, información primaria tomada directamente del campo y, por otra, recolección de

información secundaria, particularmente sobre la climatología del lugar de estudio, facilitada por una estación meteorológica del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y datos teóricos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Para el modelamiento, se ejecutó el software CropWat 8.0 propuesto por la FAO, el cual ayuda a determinar la evapotranspiración del cultivo de algodón, el requerimiento hídrico y el riego con base en la información climatológica.

II. MARCO TEÓRICO

El sector agrícola colombiano usa 16.760,33 millones de m³ equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua que se utiliza en el país. El uso para generación de energía participa con el 21,5%; el sector pecuario, con el 8,5% y el uso doméstico, con el 8,3% [3]. El cálculo de la huella hídrica ha despertado el interés de los principales sectores económicos del país [4], [5].

Adicionalmente, en el país existen zonas de tradición algodonera, en donde un gran número de habitantes derivan su sustento de las labores que demanda el cultivo en forma directa. Por otra parte, en forma indirecta, el cultivo genera otras fuentes de ingreso: agroindustria, distribuidoras de insumos y transportadoras, entre otras, lo cual implica el uso del recurso hídrico [6]. Hoy en día, existen cerca de 4.200 agricultores algodoneros en Colombia, la mayoría de ellos organizados en cooperativas. La estructura agrícola es principalmente de pequeña escala y la mayoría de los cultivos se encuentran en campos alquilados [7].

La huella hídrica es un indicador que permite identificar las relaciones socio-ambientales respecto del agua; está orientado especialmente hacia las actividades socioeconómicas, razón por la cual, se presenta como el más importante factor de presión e impacto sobre los recursos naturales. La conceptualización de la huella hídrica ayuda a visualizar

el uso oculto del agua de diferentes productos y a comprender los efectos del consumo y el comercio frente al agua y su disponibilidad.

La huella hídrica de cualquier bien o servicio es el volumen de agua utilizado directa e indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. De esta forma, la huella hídrica de un individuo no está solo relacionada con su consumo directo de agua, sino con sus hábitos de vida.

Los tres componentes primordiales para el cálculo de la huella hídrica son: la huella hídrica verde, correspondiente al volumen de agua lluvia que se consume por la vegetación y no se convierte en escorrentía. Esta agua se almacena en los estratos superficiales del terreno satisfaciendo la demanda natural de la vegetación y los cultivos; la huella hídrica azul, que relaciona el volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, y responde a un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia. El agua azul contiene conceptos implícitos de escasez y competencia por el recurso hídrico. Finalmente, la huella hídrica gris, entendida como el volumen de agua teórico necesario para lograr la dilución de un contaminante específico, de forma tal, que no altere la calidad del agua en el cuerpo receptor; no se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante.

CropWat 8.0 es un programa informático para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego con base en datos de suelo, clima y cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de suministro de agua para variar los patrones de cultivo. CropWat 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos, tanto en condiciones de secado como de regadío. Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CropWat 8.0 se basan en [8] y [9].

Como punto de partida, y solo para ser utilizado cuando no se dispone de datos locales, el software CropWat 8.0 incluye datos sobre cultivos y suelo estándar. Cuando se dispone de datos locales, estos archivos de datos pueden ser fácilmente modificados, o nuevos pueden ser creados. Del mismo modo, si los datos climáticos locales no están disponibles, estos pueden ser obtenidos por más de 5.000 estaciones en todo el mundo, desde *ClimWat*, la base de datos climáticos asociados. El desarrollo de programas de riego en CropWat 8.0 se basa en un equilibrio suelo-agua al día con varias opciones definidas por el usuario para las condiciones de abastecimiento de agua y la gestión del riego [10].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó [11] como guía para la realización del cálculo de la huella hídrica del cultivo de algodón. Igualmente, para el desarrollo de esta investigación se implementaron tres fases que se describen a continuación:

A. Fase 1. Diagnóstico del cultivo

Esta fase permitió hacer una aproximación en el proceso productivo del cultivo de algodón y, por consiguiente, determinar en qué etapas se presenta o se involucra el recurso hídrico; la fase se dividió en las siguientes actividades:

- Efectuar una consulta, con el fin de identificar las características del algodón, como las generalidades, morfología, exigencias del cultivo y características tanto físicas como químicas del terreno para el desarrollo del mismo.

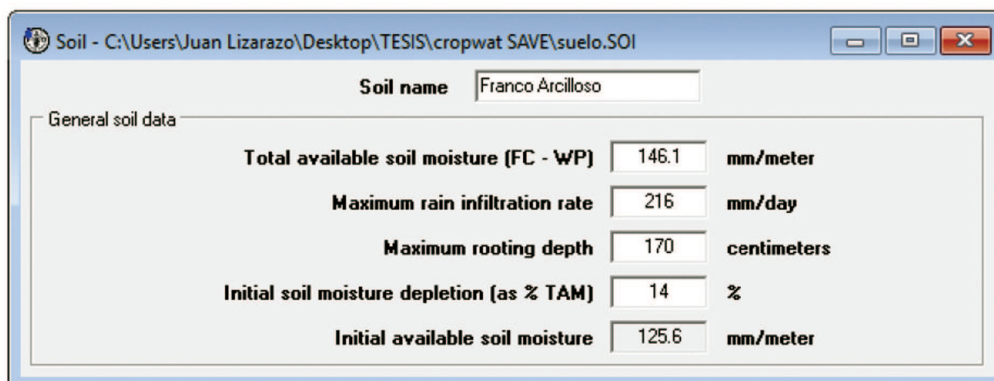
- Implementar una visita de campo para el reconocimiento de las etapas y actividades del cultivo de algodón, con el fin de obtener información de primera mano de la empresa, de tal forma, que fuera más precisa y concreta.

B. Fase 2. Determinación de la huella hídrica total con CropWat 8.0

Para la implementación de esta fase, se requirió la recopilación de información meteorológica, características de suelo y del cultivo. Esta información fue de gran relevancia para el cálculo de cada uno de los componentes de la huella hídrica y, adicionalmente, para la aplicación del software CropWat y posterior cálculo de la huella hídrica total. En esta fase la información se clasificó en varias categorías:

1) Información climatológica. Fue esencial hacer una solicitud al IDEAM para la información climatológica correspondiente. Sin embargo, se debió verificar que la información obtenida se encontrara en las mismas unidades y fuera compatibles con el software, ya que podían generar inconsistencias cuando se implementara; así mismo, todos los datos obtenidos fueron promedios mensuales de los parámetros requeridos, a excepción de la radiación solar, ya que estos datos se presentan como la suma mensual horaria.

2) Información del suelo. Según la información suministrada por el personal de la empresa cultivadora y por los estudios de suelos, el tipo de suelo predominante en el área es el franco-arcilloso; por lo tanto, este fue el que se usó para los cálculos requeridos como se muestra en la Fig. 2.



Soil - C:\Users\Juan Lizarazo\Desktop\TESIS\cropwat SAVE\suelo.SOI

Soil name: Franco Arcilloso

General soil data

Total available soil moisture (FC - WP)	146.1	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	216	mm/day
Maximum rooting depth	170	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	14	%
Initial available soil moisture	125.6	mm/meter

Fig. 2 Modelación suelo del programa CropWat 8.0 [2].

3) Información del cultivo. La información del cultivo fue proporcionada directamente por el personal de la empresa cultivadora [2].

C. Fase 3: Análisis de resultados

En esta fase, con los datos obtenidos de la modelación, se formularon alternativas de uso del recurso hídrico para un desarrollo sostenible de la actividad agrícola; así mismo se corroboró la demanda hídrica del cultivo.

IV. CADENA DEL CULTIVO DE ALGODÓN

A. Preparación del terreno y siembra

Se realizó una limpieza y adecuación del terreno, para extraer las raíces, los residuos vegetales o las malas hierbas; es decir, las que eran impropias del cultivo de algodón, y algunas semillas, que ya no generaban los resultados deseados en las plantas del algodón.

Después de limpiar el suelo, los cultivadores realizaron un pre-abonado, utilizando el fertilizante NPK triple 15 (en 100 kg de abono, contiene 15 kg de Nitrógeno, 15 kg de Fósforo y 15 Kg de Potasio). En la adecuación del terreno se utilizó el laboreo mecánico el cual favorece la estabilidad y estructuración del suelo, con lo que se mejora sus propiedades físicas (humedad, aireación, temperatura) y se aumenta la profundidad de enraizamiento.

Posteriormente, se formaron los surcos de manera mecánica con un tractor, y se procedió a realizar las labores de siembra. La semilla utilizada por la empresa fue la *Roundup Ready Flex Cotton*, la cual es una semilla modificada genéticamente producida por *Monsanto Company*. Esta semilla presenta los siguientes beneficios respecto de las semillas convencionales:

- Mayor flexibilidad en la gestión de las malas hierbas.
- Un sistema de control de malas hierbas de amplio espectro.
- Los costes laborales reducidos para los agricultores debido al menor pulverizador.
- Rociar sobre la parte superior más allá de la etapa de la cuarta hoja, lo que puede reducir la dependencia de los escudos o rociadores con campana.
- Mayor seguridad en los cultivos durante las etapas reproductivas de algodón sensible.
- Capacidad de adaptar las aplicaciones de herbicidas a altura de las malezas o etapa, en lugar de la etapa del desarrollo del algodón [12].

B. Etapa de crecimiento

Veinte días después de la siembra, cuando la planta alcanzó una altura aproximada de 15 cm., se realizó la adición del herbicida; para tal fin, se utilizó el herbicida *Roundup de Monsanto Company*. El ingrediente activo del producto es el Glifosato, el cual se desarrolla para controlar una amplia variedad de malas hierbas, hierbas y plantas de hoja ancha. Se suministra 2 Litros/Ha y requiere de 1 jornal/Ha [13].

Entre los 20 a 30 días se realizó la fertilización, utilizando nuevamente el compuesto NPK, importante para suplir las necesidades de las plantas. Este fertilizante contiene tanto nutrientes primarios como secundarios indispensables para el crecimiento óptimo del algodón; se utilizan 4 jornales para suministrar al suelo la dosis requerida del fertilizante, la cual es de 300 kg/Ha a 400 kg/Ha.

Luego de que la planta obtuvo una altura aproximada 1.20 metros, se acostumbra podar el cogollo para detener su crecimiento, con el fin de no afectar la calidad de las fibras; esto requirió de la aplicación de mayores cantidades de fertilizante.

D. Desmote del algodón

Aproximadamente, 180 días después de iniciada la siembra, se realizó la recolección de la cosecha, o el desmote del algodón, lo cual se puede hacer de forma mecánica o manual. Producto del desmote, se obtuvieron dos tipos de materia prima: la primera el algodón semilla, y la segunda la fibra de valor comercial.

La fibra se utiliza como materia prima para la elaboración de textiles y la semilla es comprada principalmente por industrias de aceites y grasas comestibles y, en segunda instancia, por fabricantes de concentrados para animales, empresas productoras de semillas y semilla para alimentación animal directa.

Así mismo, se pudo observar que la empresa no cuenta con ningún sistema de riego o método para proveer agua al cultivo, sino que se vale de las precipitaciones a lo largo del año, apoyándose en una estación agro meteorológica con la que cuenta desde el año 2013 para el monitoreo de las condiciones meteorológicas.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados arrojados por el software CropWat 8.0 dan un estimativo de la cantidad de agua azul o agua proveniente de una fuente superficial que puede cubrir los requerimientos de riego del cultivo de algodón en el predio de estudio, como se observa en la Fig. 3 [2].

El valor encontrado para la huella hídrica azul es de 749.5 . Este valor representa la cantidad de agua que demanda el cultivo desde el primer día de siembra hasta su recolección, sin considerar el agua proveniente de la precipitación, no obstante, teniendo en cuenta la situación actual del predio. Como se puede evidenciar, al no contar con una fuente de agua alterna para el riego, el cultivo de algodón se encuentra en un alto déficit hídrico.

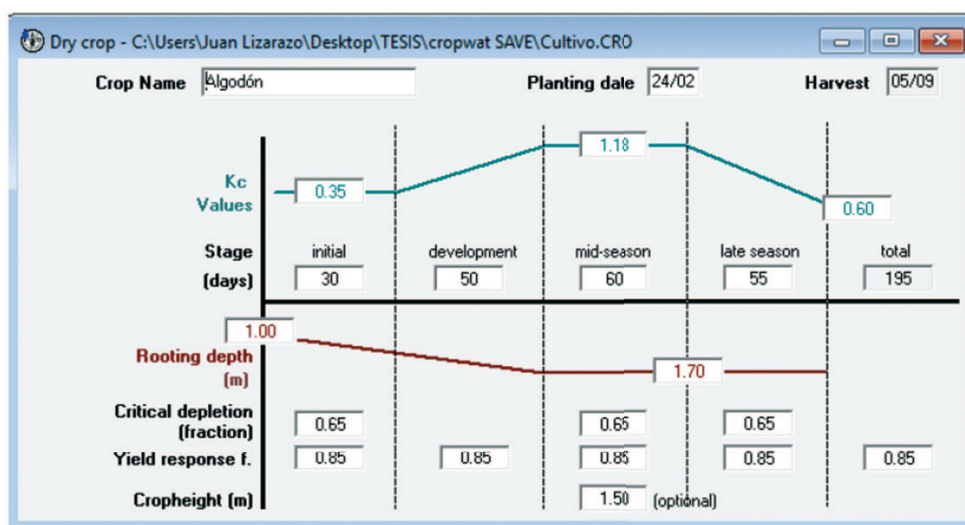


Fig. 3 Modelación de la subdivisión del cultivo del programa CropWat 8.0.

En la Fig. 4 se puede observar la carencia hídrica con un valor máximo de 35,5 mm/dec (década).

Mes	Década	Stage	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	3	Inic	4.0	10.9	4.0
Abr	1	Inic	13.3	43.0	0.0
Abr	2	Inic	13.3	45.5	0.0
Abr	3	Des	13.5	42.1	0.0
May	1	Des	18.1	39.0	0.0
May	2	Des	23.8	36.7	0.0
May	3	Des	32.7	29.9	2.8
Jun	1	Des	35.4	21.2	14.2
Jun	2	Med	40.2	14.2	26.0
Jun	3	Med	41.3	13.4	27.9
Jul	1	Med	41.5	13.0	28.5
Jul	2	Med	41.7	11.4	30.3
Jul	3	Med	46.6	11.1	35.5
Ago	1	Med	43.1	9.8	33.2
Ago	2	Fin	43.1	8.9	34.2
Ago	3	Fin	43.8	13.0	30.7
Sep	1	Fin	36.0	16.4	19.5
Sep	2	Fin	32.2	19.4	12.8
Sep	3	Fin	28.0	28.4	0.0
Oct	1	Fin	21.6	36.0	0.0
			613.2	463.2	299.8

Fig. 4 Déficit hídrico del cultivo.

Este comportamiento se observó desde finales de mayo hasta principios de septiembre, lo que conllevó a un desarrollo poco eficiente, reflejado en el crecimiento de las raíces, en el crecimiento de la planta y, por consiguiente, en la producción del algodón.

Con respecto a la huella hídrica verde, se observó un lapsus de tiempo en el que se presentaron valores altos al inicio; es decir, en la etapa de siembra. Pero, posteriormente, apareció un decrecimiento llegando a un punto mínimo de 8,9 mm/dec lo que reflejó que las precipitaciones no eran suficientes para suplir la demanda del cultivo de algodón como se observa en la Fig. 5, el valor obtenido para esta huella hídrica fue de $1158 \frac{m^3}{Ton}$.

Mes	Década	Stage	ETc	Prec. efec
			mm/dec	mm/dec
Mar	3	Inic	4.0	10.9
Abr	1	Inic	13.3	43.0
Abr	2	Inic	13.3	45.5
Abr	3	Des	13.5	42.1
May	1	Des	18.1	39.0
May	2	Des	23.8	36.7
May	3	Des	32.7	29.9
Jun	1	Des	35.4	21.2
Jun	2	Med	40.2	14.2
Jun	3	Med	41.3	13.4
Jul	1	Med	41.5	13.0
Jul	2	Med	41.7	11.4
Jul	3	Med	46.6	11.1
Ago	1	Med	43.1	9.8
Ago	2	Fin	43.1	8.9
Ago	3	Fin	43.8	13.0
Sep	1	Fin	36.0	16.4
Sep	2	Fin	32.2	19.4
Sep	3	Fin	28.0	28.4
Oct	1	Fin	21.6	36.0
			613.2	463.2

Fig. 5 Comportamiento de la precipitación efectiva.

Por último, en la huella hídrica gris se tuvieron en cuenta los dos productos más significativos e implementados: el compuesto NPK y el glifosato; el primero tuvo mayor relevancia ya que presenta una mayor demanda, la cual se orienta en el elemento del fósforo de $150 \frac{m^3}{Ton}$.

Al hablar de la huella hídrica total del estudio realizado, el resultado obtenido fue de $2057.5 \frac{m^3}{Ton}$, teniendo en cuenta que la huella azul se obtuvo del programa de simulación CropWat 8.0 y no del lugar de estudio; además, la huella hídrica con el mayor aporte a la total es la verde con un 56,28%, seguida de la azul con un 36,43% y, por consiguiente, la gris con el 7,29%. Cabe aclarar que estos datos son solo para el caso de estudio; pero, como no hay presencia de ningún mecanismo de riego, entonces, su huella hídrica total sería la sumatoria de la huella hídrica verde y la gris la cual es de $1308 \frac{m^3}{Ton}$.

$$H \cdot H_{TOTAL} = H \cdot H_{Azul} + H \cdot H_{Verde} + H \cdot H_{Gris}$$

$$H \cdot H_{TOTAL} = 749.5 \frac{m^3}{Ton} + 1158 \frac{m^3}{Ton} + 150 \frac{m^3}{Ton}$$

$$H \cdot H_{TOTAL} = 2057.5 \frac{m^3}{Ton}$$

CONCLUSIONES

El cultivo de algodón del predio en estudio posee una huella hídrica total ideal de 2057.5 m³/Ton para un tiempo de cosecha de 195 días; el componente más representativo fue la huella verde con un 56.28% (1158 m³/Ton), seguido del componente azul con un 36.43% (749.5 m³/Ton) y, finalmente, el componente gris con un 7.29% (150 m³/Ton).

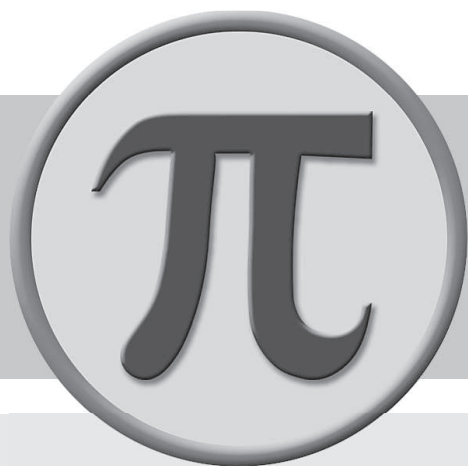
La modelación realizada determinó que la mayor parte de los requerimientos de agua del cultivo de algodón se pueden satisfacer con agua lluvia en un 60%, teniendo en cuenta que el comportamiento del clima es bimodal y las respectivas modelaciones hacen constatar que en la época media del cultivo se presenta una mayor demanda del recurso hídrico y la decadencia de las precipitaciones.

En los cálculos realizados con respecto a la huella gris se pudo evidenciar que tuvo un mayor impacto el fertilizante usado que el mismo herbicida lo cual refuta el ideal que los herbicidas, pesticidas y demás son los que generan mayor impacto al medio ambiente y, en este caso, al recurso hídrico.

En modo de síntesis, es de gran relevancia la implementación de un sistema de riego para la satisfacción hídrica del cultivo de algodón en las épocas más críticas.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía Municipal de Natagaima Tolima, "Esquema de Ordenamiento Territorial Natagaima Tolima", Natagaima, Colombia, 2003.
- [2] O. Fonseca y J.A. Lizarazo, "Determinar la huella hídrica del cultivo de algodón (Gossypium) de la empresa Coagronat Ltda en el municipio Natagaima - Tolima." Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2016.
- [3] IDEAM, "Estudio Nacional del Agua", Bogotá, Colombia, 2014.
- [4] E.A. Sánchez, J.R. Villarreal y J.A. Torres, "Estimación de la huella hídrica para un cultivo de Pitahaya Amarilla (*Selenicereus Megalanthus*)", *Publicaciones e Investigación*, Vol. 9: 13-24, 2015.
- [5] Y. Vanegas, L. Vera y J.A. Torres, "Evaluación de la Huella Hídrica del Lirio Japonés (*Heimerocallis*)", *Publicaciones e Investigación*, Vol. 8: 79-87, 2014.
- [6] ICA, "Manejo fitosanitario del cultivo de algodón", Bogotá, Colombia, 2012.
- [7] D. Arévalo, "Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica", Colombia, 2012.
- [8] L. Allen, R. Pereira, D. Raes y M. Smith, "Evapotranspiración del cultivo - Directrices para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos", Estudios FAO Riego y Drenaje No. 56, Roma, Italia, 2006.
- [9] J. Doorenbos y K.H. Kassam, "Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos", Estudios FAO, Serie Riego y Drenaje No. 33, FAO, Roma, Italia, 1986.
- [10] FAO (2015), "FAO Water", [Online] Available: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- [11] A.Y. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya y M. Mekonnen, "The Water footprint assessment manual, setting the global standard". Earthscan. London, UK, 2011.
- [12] Monsanto Company (2015), [Online] Available: <http://www.monsanto.com/products/pages/genuity-roundup-ready-flex-cotton.aspx>
- [13] Monsanto Company (2015), [Online] Available: <http://www.monsanto.com/glyphosate/pages/default.aspx>



DEFINICIÓN DE UN MODELO DE CALIDAD DE SERVICIOS SOPORTADO POR TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (TI)

DEFINITION OF A SERVICE QUALITY MODEL SUPPORTED BY INFORMATION TECHNOLOGIES (IT)



¹John Martínez, ²Francisco J. Pino

*Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones,
Universidad del Cauca. Popayán, Colombia*

¹jfmartinez@unicauca.edu.co

²fjpino@unicauca.edu.co

Recibido: 10/08/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

Un servicio basado en tecnologías de la información (TI) es aquel que tiene una gran dependencia de la tecnología y que sin esta no podría ofrecerse, convirtiendo así el área que soporta las TI en las empresas, en una parte esencial de la cadena de valor del negocio. En este sentido, la calidad del servicio se ha convertido en un factor muy importante y de gran atención para las organizaciones proveedoras de servicios puesto que la buena calidad de los servicios prestados a los clientes genera una ventaja de competitividad y sostenibilidad necesaria para lograr sobresalir en un mercado. Por lo anterior, en este estudio se establece una primera aproximación a un nuevo modelo de calidad de servicios soportados por TI aplicable a cualquier área de negocio. Para determinar este modelo, se ha propuesto el método del mapeo sistemático en el que, a través de una revisión bibliográfica, se han determinado y clasificado elementos de calidad de servicio en características, sub-características y atributos, estableciendo la relación entre cada uno de ellos. Como resultado de esta primera aproximación, se han logrado clasificar un total de 43 elementos de calidad y se han propuesto una serie de dimensiones encaminadas a determinar cuáles de los elementos encontrados tienen mayor o menor impacto desde la perspectiva tanto del usuario como del proveedor del servicio. Al final de este estudio, se define una estructura general del modelo y se establece, a manera de ejemplo, una jerarquía de elementos a partir de la característica de mantenibilidad del servicio.

Palabras clave: atributos, calidad, características, servicio TI, sub-características.

ABSTRACT

A service based on information technology (IT) is the one which has a great dependence on the technology and that, without this, could not be offered, thereby converting the area that supports IT in an essential part of the value chain of the business. In this sense, the quality of service has become a very important factor and a great deal of attention to the service-providing organizations, since the good quality of the services

provided to clients, generates an advantage of competitiveness and sustainability needed to stand out in a market. Therefore, this study establishes a first approximation to a new services quality model supported by IT, applicable to any area of business. To determine this model, the method of systematic mapping has been proposed, where through a bibliographic review, elements of quality of service in features, sub-features and attributes have been identified and classified, establishing the relationship between each one of them. As a result of this first approach, a total of 43 elements of quality have been classified and a series of dimensions aimed to determine which of the items found have greater or lesser impact from the perspective of both, the user and the service provider, have been proposed. At the end, this paper defines a general structure of the model and sets, by way of example, a hierarchy of elements from the feature of maintainability of the service.

Keywords: *attributes, characteristics, IT service, quality, service, sub-characteristics.*



I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de las tecnologías de la información (TI), el desarrollo constante y evolutivo de nuevos productos y la marcada tendencia que reevalúa el modelo de negocio enfocado a la prestación de servicios más que a la misma venta del producto, requiere una atención especial en cuanto a los aspectos relacionados con la calidad [1]. Existen, en este sentido, una serie de iniciativas tendientes a establecer modelos de referencia para garantizar la calidad de los servicios prestados. Es así, como una iniciativa importante que viene desarrollándose desde finales de la década de 1970, es el modelo ServQual [2], que se enfoca en establecer dimensiones de calidad de un servicio, aunque no considera aspectos explícitos relacionados con el aporte que hoy en día brindan las TI para la prestación de servicios. Por su parte, modelos como el de McCall [3], ISO 9126 [4] e ISO 25010 [5] que abordan, igualmente, el tema de calidad de producto software, tampoco consideran aspectos de calidad de servicios soportados por TI.

Dependiendo de la naturaleza del servicio y de los medios o canales disponibles que apoyan la prestación del mismo, se pueden identificar diferentes tipos, entre otros, los servicios soportados por tecnologías de la información, solo para dar un ejemplo [6]. Un servicio de TI, por una parte, está soportado

por tecnologías de la información y de las comunicaciones y, por otra, ofrece una serie de prestaciones destinadas a satisfacer las necesidades de los clientes mediante el uso de infraestructura tecnológica [7]. Es importante resaltar que la calidad del servicio debe ser verificada una vez el cliente tenga a su disposición el mismo para uso y evaluación. En este sentido, se define calidad del servicio como: el grado con el cual las características inherentes de servicios de TI satisfacen las necesidades del cliente [8]; la capacidad del servicio para proporcionar el valor previsto [6]; el grado en que un conjunto de características inherentes del servicio satisface los requisitos del cliente [9]. Considerando lo anterior, establecer aspectos relacionados con la calidad de servicio es un elemento fundamental para la selección del mejor servicio entre un conjunto de servicios funcionalmente equivalentes, y para definir un contrato entre el proveedor de servicios y el usuario del servicio con el fin de garantizar que se cumplan las expectativas de este.

En este sentido, es importante llevar a cabo esfuerzos de investigación que permitan determinar elementos que ayuden a usuarios y proveedores en la gestión, evaluación y determinación de la calidad de un servicio soportado por TI. En este artículo se propone una aproximación inicial a la definición de un modelo

de calidad de servicios soportados por TI que describa y relacione un conjunto de características, subcaracterísticas y atributos de modo que los usuarios y proveedores puedan contar con una herramienta de trabajo para mejorar, definir, medir y controlar la calidad de los servicios prestados, es decir, gestionar la calidad de un servicio soportado por TI.

En este orden de ideas, en el presente documento se describe la metodología empleada para identificar elementos de calidad (características, subcaracterísticas y atributos) existentes en el contexto de la prestación de servicios soportados por TI; se caracterizan los diferentes elementos de calidad encontrados y que impactan un servicio soportado por TI desde la perspectiva tecnológica, de proveedor y de usuario, y se da una definición de una aproximación a la estructura genérica del modelo de calidad

de servicios soportados por TI que considere los elementos identificados y caracterizados.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sección se presentan los estudios relevantes para la creación de la propuesta.

Llevando a cabo un análisis preliminar de la literatura, ha sido posible encontrar un gran interés en el incremento de trabajos relacionados y orientados a la definición de modelos de calidad de servicios en áreas específicas de las tecnologías de la información.

En la Tabla 1 se presentan las características principales de algunos de los trabajos encontrados:

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE TRABAJOS RELACIONADOS

Nº.	AUTORES	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
1	[10]	Analytics Service Assessment and Comparison Using Information Service Quality Evaluation Model. Por medio de esta investigación se propone un nuevo modelo de evaluación para asegurar la valoración de la calidad de servicios de información de alto valor agregado como servicios de negocios o servicios de tecnología inteligente. En este estudio se comparan dos servicios de análisis: Google Analytics y InSciTe Adaptive, utilizando el modelo de evaluación propuesto. El modelo de calidad de servicios de información contiene dos factores de evaluación basados en la capacidad de uso y la confiabilidad, así como en sus veintidós criterios de evaluación. Como resultado de la evaluación, se muestra que el modelo es útil para acceder a la información de calidad del servicio de varios servicios de análisis y para encontrar las principales características entre los diferentes tipos de servicio en los dominios de negocios e investigación.
2	[11]	Developing e-ServQual for Educational Websites. Este trabajo explora la calidad del servicio de los sitios web educativos y su impacto en la fidelidad de los usuarios. La evaluación de confianza es propuesta por parte de los usuarios, mediante un mecanismo cognitivo entre la calidad del servicio del sitio web y la fidelidad del usuario, usando un instrumento e-ServQual modificado con medidas adicionales para confianza y fidelidad. Los resultados muestran que la calidad tiene un fuerte impacto en la fidelidad y la confianza por parte del usuario. Los componentes de diseño, capacidad de respuesta, información, seguridad y usabilidad tomados de e-ServQual aparecen como adecuados para medir la calidad de la información del servicio y la interacción orientada a los sitios web.
3	[12]	Service quality in internet banking: the importance of customer role. El modelo muestra que en el contexto de banca por internet hay 5 elementos clave que son la dimensión central de la calidad de servicio percibida. Ellos son: expectativas del cliente acerca del servicio, entendiendo que los clientes tienen expectativas de lo que podría pasar en sus próximos encuentros con base en lo que ellos merecen; la exploración de la diferencia percibida entre el servicio esperado y la experiencia del servicio; la imagen y reputación de la organización de servicio, la cual es considerada como un aspecto determinante en la calidad del servicio, entendiendo que los clientes construyen elementos de confianza a partir de la imagen y reputación del proveedor del servicio; aspectos de la configuración del servicio, en los que el modelo incorpora conceptos de calidad técnica y funcional enfocados en dos elementos de la experiencia del servicio: la configuración del servicio y el servicio encontrado; el servicio encontrado, el cual, y de acuerdo con el modelo, se relaciona fuertemente con el servicio percibido y la participación del cliente que se relaciona con el grado de auto-determinismo respecto del servicio prestado, es decir, cuál es el papel que el cliente desempeña y cómo participa mientras el servicio se presta.

Nº.	AUTORES	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
4	[13]	E-service quality: a model of virtual service quality dimensions. Este estudio propone un modelo conceptual de la calidad de e-service, con sus factores determinantes. Propone, además, que la calidad del e-service tiene dimensiones de incubación y activas para aumentar las tasas de éxito y rigidez y la retención de clientes. La dimensión de incubación consiste en facilidad de uso, apariencia, vinculación, estructura, diseño y contenido. La dimensión activa consiste en fiabilidad, eficiencia, apoyo, comunicación, seguridad e incentivos.
5	[14]	Measuring the quality of e-banking portals. Acorde con un estudio empírico en el campo de la banca electrónica, los autores validan un modelo de medición para la construcción de la calidad de un portal web basado en las siguientes dimensiones: la seguridad y la confianza, la calidad de los servicios básicos, la calidad de los servicios de compra, el valor agregado, soporte a transacciones y capacidad de respuesta. Las dimensiones identificadas razonablemente se pueden clasificar en tres categorías de servicios: servicios básicos, servicios adicionales y servicios de resolución de problemas. El conocimiento de estas dimensiones como los principales determinantes de la percepción de la calidad de los consumidores en internet ofrece a los bancos un punto de partida prometedor para el establecimiento de una gestión eficaz de la calidad de sus negocios electrónicos.
6	[1]	A trust model of cloud computing based on Quality of Service. Este trabajo define un modelo de confianza basado en credenciales pasadas y capacidades actuales de un proveedor de recursos en la nube. El valor de confianza se calcula utilizando cuatro parámetros, tales como, la disponibilidad, la fiabilidad, la eficiencia de respuesta y la integridad de los datos. Se propone un sistema de gestión de confianza para la implementación del modelo. Se describe cómo se prepara un acuerdo de nivel de servicio que combina la calidad de los requisitos de servicio de usuario y las capacidades de los proveedores de recursos en la nube. El conjunto básico de métricas de confianza consiste en requisitos de QoS, dado que la confianza es formulada sobre la base de la calidad de los requisitos de servicio (QoS). A esto se le llama modelo de confianza QoS.

A partir del análisis de los trabajos presentados, se puede observar que existen estudios enfocados a la calidad de servicios, algunos de ellos encaminados a ciertas áreas específicas, relacionadas con las tecnologías de la información; sin embargo, proponer un modelo general de calidad de servicios soportados por TI toma relevancia debido a que se hace necesario establecer un mecanismo que permite percibir el servicio TI bajo una misma óptica, tanto desde el lado del cliente como desde el lado del proveedor. Así mismo y apoyados en el modelo, se tiende a garantizar que la prestación de los servicios coincide con la especificación inicial de los mismos. Además, este modelo pretende apoyar la industria del software, ya que este tipo de industria está evolucionando a ofrecer sus productos como servicios, y el modelo les permitirá tener un referente para prestar servicios de calidad.

III. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE SERVICIOS SOPORTADOS POR TI

A. Identificación de elementos de calidad

La identificación de elementos de calidad en el contexto de la prestación de servicios soportados por TI se orienta en encontrar elementos de calidad clasificados como características, sub-características, atributos y métricas, de modo que facilite la organización y clasificación como primer paso para establecer un modelo inicial de calidad de servicios.

Lo anterior, requirió buscar un mecanismo para obtener los elementos de calidad necesarios con el fin de proceder posteriormente con su clasificación. Dicho mecanismo consistió en la revisión de la literatura existente por medio del método de mapeo sistemático el cual define un proceso y una estructura de informe que permite categorizar los resultados que han sido publicados hasta el momento en un área de interés [15].

B. Proceso de mapeo sistemático

Como se mencionó anteriormente, la técnica del mapeo sistemático permite revisar y categorizar información relacionada con un tema específico o área de interés.

El objetivo de un mapeo sistemático es determinar el alcance de la investigación realizada sobre un

tema de investigación específico y clasificar conocimiento [15]. Esta técnica permite, además, responder preguntas genéricas como, ¿qué es lo que se ha hecho hasta el momento en un campo de interés? Como limitación, este tipo de estudios no toma en consideración la calidad de los estudios incluidos [16]. La Fig.1 presenta el proceso que se ha seguido para la realización del mapeo sistemático.

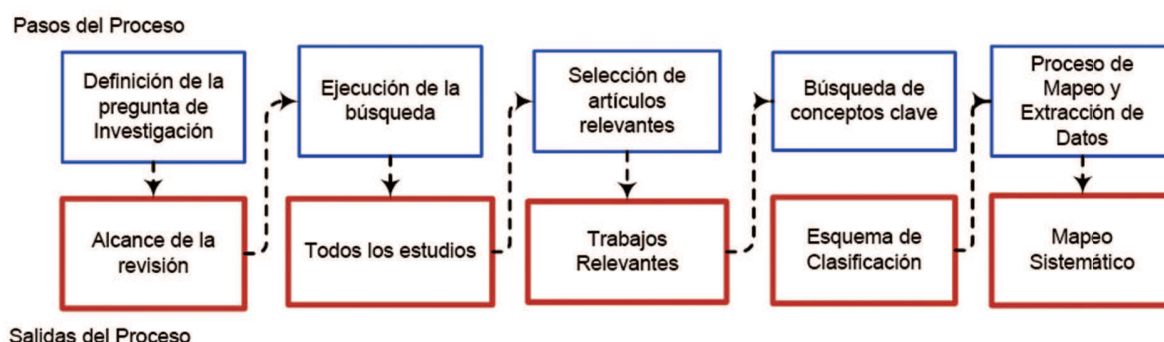


Fig. 1 El proceso del mapeo sistemático (Basado en [15])

1) Definición de la pregunta de investigación: la pregunta de investigación se enfoca en identificar las características y/o los atributos de un servicio, los cuales serán útiles para determinar su calidad. De esta manera, las preguntas de investigación que se tienen en cuenta para el mapeo sistemático son:

- ¿Qué características, sub-características y/o atributos se deben considerar para determinar la calidad de un servicio soportado por TI?
- ¿Cómo determinar la calidad de un servicio soportado por TI considerando las características, sub-características y atributos identificados?

2) Ejecución de la búsqueda: la ejecución de búsqueda se hace principalmente utilizando *Scopus* [17] que corresponde a una base de datos de artículos y citas en el ámbito mundial con más de 20.500 títulos de más de 5.000 publicaciones internacionales. *Scopus* ofrece a los investigadores una fácil, rápida y comprensiva fuente para soportar sus necesidades de investigación en los campos

científico, técnico, de la medicina, las ciencias sociales, artes y humanidades.

A partir de las palabras clave, calidad de servicios, características y atributos, se construye la siguiente cadena de búsqueda, la cual se centra inicialmente en artículos y revistas referenciados por *Scopus*, publicados entre los años 2014 y 2015, escritos en idioma inglés y enmarcados en el área de las ciencias de la computación.

(“service quality” OR “quality of service”) AND (characteristics OR attributes)

3) Selección de información relevante:

- **Criterio de inclusión:** una vez ejecutada la cadena de búsqueda, se aplican los criterios de inclusión con el fin de obtener los documentos relevantes; dichos criterios se listan a continuación:
 - Tipo de documento: revistas y artículos.
 - Idioma: inglés
 - Área: Ciencias de la computación

- Manejo del tema: se revisó en los resúmenes de los documentos encontrados que la propuesta esté enfocada en profundizar conceptos relacionados con la calidad de servicios soportados por TI.

Como resultado de la aplicación de este criterio, se obtuvieron 78 artículos catalogados como artículos relevantes.

- **Criterio de exclusión:** de los 78 documentos relevantes seleccionados, se excluyeron los que en su contenido no profundizan en atributos y/o características de calidad de software.

A partir de este criterio se seleccionaron finalmente 43 documentos primarios sobre los cuales se basa el estudio de caracterización de elementos y calidad de servicios de software soportados por TI.

4) Búsqueda de conceptos clave: la información relevante, con respecto al proceso del mapeo sistemático se orienta principalmente a determinar los siguientes elementos relacionados con calidad de servicios:

- Métricas
- Atributos
- Sub-características
- Características
- Modelos de calidad de servicios
- QoS
- QoE

Los aspectos relacionados con los elementos anteriormente descritos han dado como resultado una clasificación inicial de los estudios primarios que facilita, *a posteriori*, agrupar los mismos en términos de características de calidad, cuyo esquema de clasificación se detalla a continuación.

5) Esquema de clasificación: para la determinación del nivel de comprensión de la naturaleza y de contribución de las investigaciones a partir de la información primaria, se han identificado las siguientes dimensiones:

Dimensión de características, en la cual se definen un conjunto de características y elementos relacionados con calidad de servicios. Por ejemplo, desempeño, disponibilidad, confiabilidad, seguridad, etc.

Dimensión de resultados esperados, en la cual se identifican resultados de investigación de acuerdo con [18]. Por ejemplo, procedimientos, métodos, modelos, informes, etc.

Dimensión de la evaluación de los resultados, que muestra los estudios que tuvieron alguna validación de resultados de acuerdo con la clasificación de [19]. Por ejemplo, casos de estudio, experimentos, experiencias, etc.

Dimensión de tecnologías, que agrupa los estudios de acuerdo con el área tecnológica sobre la cual estos se adelantan. Por ejemplo, redes, servicios web, *cloud computing*, etc.

Dimensión del área de aplicación, que determina si los estudios de investigación realizados han sido probados sobre un área de negocio específica, como, banca, educación, transporte, etc. para citar algunos ejemplos.

De lo anterior, vale la pena resaltar que la dimensión de características de calidad se determina como la dimensión más importante del mapeo sistemático dado que es en esta en la que se enmarcan los diferentes elementos de calidad de servicios relacionados con las tecnologías de la información en una característica en particular; de ahí, que las otras dimensiones no tengan una relación uno a uno con las características de calidad. Esta determinación no pretende restar valor a estas dimensiones, pues uno de los propósitos del mapeo sistemático es tener una visión general de todos los estudios encontrados y clasificados a través de las diferentes dimensiones definidas.

A continuación, se describe la forma como se definieron las dimensiones descritas anteriormente.

Dimensión de características de calidad: esta dimensión se determina como la dimensión transversal sobre la cual se confrontan el resto de dimensiones y se construye agrupando los elementos de calidad encontrados en los estudios, en características de calidad definidas por diferentes modelos descritos más adelante.

La determinación de la dimensión se centra en encontrar elementos de calidad de servicios soportados por TI entre los que se consideran: métricas, atributos, sub-características y características.

Entre los estudios analizados durante los años 2014 y 2015, se identificaron 38 elementos de calidad (ver Tabla 2), lo que supuso una clasificación inicial enfocada a determinar la característica de calidad a la cual corresponde cada elemento.

TABLA II
 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS DE CALIDAD

ELEMENTO DE CALIDAD	TIPO DE ELEMENTO	CARACTERÍSTICA ASOCIADA	ISO 25010	E-SERVICE QUALITY	E-S-QUAL	ISO 25011
Cost	Atributo	Performance	X			
Fault rate	Métrica	Reliability	X	X	X	X
Response time	Métrica	Maintainability	X			X
Operability	Atributo	Performance	X	X	X	X
Privacy	Dimensión	Security		X		X
Availability	Característica	Availability	X	X	X	X
Transmit rate of video	Métrica	Performance	X			
Packet delivery ratio	Métrica	Performance	X			
Jitter	Métrica	Performance	X			
Throughput	Métrica	Performance	X			
Energy cost	Métrica	Performance	X			
Bit error rate	Métrica	Performance	X			
Adaptability	Sub característica	Portability	X			
Maintainability	Característica	--	X			
Authentication	Sub característica	Security	X	X		X
Authorization	Sub característica	Security	X	X		X
Integrity	Sub característica	Security	X	X		X
Confidentiality	Sub característica	Security	X			X
Endtime	Atributo	Reliability	X	X	X	X
Accessibility	Sub característica	Usability	X			X
Active cell count	Métrica	Performance	X			
End to end delay	Métrica	Performance	X			
Usability	Característica	--	X			
Responsiveness	Dimensión de calidad de servicio	Responsiveness		X	X	X
Reliability	Dimensión de calidad de servicio	--				X
Processing time	Métrica	Performance	X	X	X	X
Performance	Característica	--	X			
Load balancing	Atributo	Availability	X			
Bandwidth	Atributo	Performance	X			
Packet loss	Métrica	Reliability	X	X	X	X
Latency	Métrica	Performance	X			
Scalability	Atributo	Performance	X			
Security	Dimensión de calidad de servicio	--		X		
Portability	Característica	--	X			
Accessibility	Dimensión de calidad de servicio	--				
Interaction	Atributo	Efficiency	X			
Adequacy of information	Dimensión de calidad de servicio	Personality				X
Personality	Dimensión de calidad de servicio	Personality				X

Se tomaron como base los siguientes modelos de calidad para soportar dicha clasificación:

- **ISO/IEC 25010:** este modelo de calidad está enfocado al producto software, el cual se puede interpretar como el grado en que dicho producto satisface los requisitos de sus usuarios aportando de esta manera un valor [5]. Este modelo se tiene en cuenta debido a que la calidad de la prestación de servicios soportados por TI depende directamente de la calidad del producto que soporta dichos servicios. Por ejemplo, los canales de transmisión y la capacidad de procesamiento, entre otros aspectos.
- **E-S-Qual:** este modelo conceptualiza, construye, refina y prueba una escala multi-ítem para medir la calidad de servicio prestada por sitios Web en los cuales los clientes compran *online*. El modelo cuenta con dos escalas: la primera, corresponde a la escala básica *E-S-Qual*, la cual está definida por 22 ítems en cuatro dimensiones: eficiencia, cumplimiento, disponibilidad del sistema y privacidad. La segunda escala denominada *E-RecS-Qual* es relevante solo para los clientes que tuvieron encuentros rutinarios con los sitios y contiene 11 ítems en tres dimensiones: capacidad de respuesta, compensación y contacto [20].
- **E-Service Quality Model:** este estudio [13] propone un modelo conceptual de la calidad de *e-service* con sus factores determinantes y establece dimensiones de incubación y activas para aumentar las tasas de éxito, rigidez y la retención de clientes. La dimensión de incubación consiste en facilidad de uso, apariencia, vinculación, estructura, diseño y contenido. La dimensión activa tiene que ver con fiabilidad, eficiencia, apoyo, comunicación, seguridad e incentivos. A continuación, se muestra la estructura del modelo.
- **ISO/IEC 25011:** [5] define un modelo general de calidad de servicios que se aplica al diseño, implementación, ejecución y mejora de los servicios que utilizan o soportan tecnologías de la

información (TI). Adicionalmente, proporciona una guía para extender el modelo de calidad en uso de la norma ISO/IEC 25010 con el fin de describir la calidad en uso de servicios, la cual está relacionada con la percepción de la prestación del servicio en un contexto particular de uso.

6) Fase de caracterización de elementos de calidad: definidos los modelos de calidad de referencia, se dio inicio a la clasificación de los elementos de calidad, asociándolos a aquellas características o dimensiones que más se adaptan a su campo de acción. El resumen de la caracterización de elementos se presenta en la Tabla 2.

De la tabla 2 se logró determinar elementos de calidad asociados a: la infraestructura del canal de transmisión sobre la cual se soporta el servicio, como *transmit rate of video, packet delivery ratio, jitter, throughput, etc*; la prestación propia del servicio, como *privacy, adequacy of information, personality, responsiveness, reliability, etc*. y la percepción que tienen los usuarios del mismo, como *integrity, confidentiality, reputation, usability*, entre otros.

Para esta primera iteración, las características de calidad que se incluyen en la dimensión son aquellas que están asociadas a algún modelo de referencia base para este estudio; sin embargo, se contemplan otra serie de características que se irán incluyendo en la dimensión conforme avance su análisis. Estas características se mencionan en la discusión del presente documento.

Definida la dimensión de características de calidad, se determinaron las siguientes dimensiones adicionales que estructuran el mapeo sistemático de la investigación:

- **Dimensión de resultados esperados del estudio:** la exploración inicial de los estudios primarios encontrados y que se relacionan con calidad de servicios soportados por TI, utilizan diferentes enfoques y resultados de investigación como métricas, *frameworks*, modelos, herramientas, etc.

[18] clasifica estos resultados de investigación y es en este estudio sobre el cual se basa la elaboración de esta dimensión. La Tabla 3 muestra la clasificación completa de estos resultados.

TABLA III
ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN (BASADA EN [18])

TIPO DE RESULTADO	EJEMPLO
Procedimiento o técnica.	Una forma nueva o mejor de hacer, tal como diseño, implementación, mantenimiento, evaluación, selección de alternativas; incluye técnicas operacionales para implementar, representar, analizar, etc.
Método descriptivo o cualitativo.	Estructuración de un problema (estilos, framework, patrones, análisis de dominio no formales). Generalizaciones informales bien argumentadas. Guías para integrar resultados.
Modelo empírico	Modelo predictivo basado en muestreos.
Modelo analítico	Modelo estructural suficientemente preciso para soportar análisis formal o manipulación automática.
Notación, herramienta	Lenguaje formal para soportar técnicas o modelos (debe poseer un cálculo, una semántica, etc.). Herramienta que implementa una técnica.
Solución particular	Solución a un problema que usa principios de ingeniería y está centrado más en el diseño que en la implementación.
Respuesta, justificación	Resultado de un análisis específico, evaluación o comparación.
Informe	Observaciones interesantes.

- **Dimensión de validación del estudio:** en esta dimensión se han definido las formas en que los autores de las investigaciones estudiadas durante el proceso de mapeo sistemático realizaron el proceso de validación de sus propuestas. De esta manera, se definen los tipos de validación encontradas tomando como base el estudio adelantado por [19], tabla 4.

TABLA IV
TIPOS DE VALIDACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES (BASADA EN [19])

TIPO DE VALIDACIÓN	DESCRIPCIÓN
Caso de estudio.	Documentos que mantienen una perspectiva objetiva en lo que se describe; deben ser a la vez analíticos y descriptivos acerca de la aplicación en un entorno industrial o de organización. Proporcionan una descripción detallada de cómo la práctica se aplicó y por qué.
Encuestas	Documentos que muestran las respuestas a preguntas acerca de lo que se conoce actualmente sobre una materia o tema específico, y qué significa para los investigadores y profesionales, de manera que suministran los conocimientos del resultado para permitir a los nuevos investigadores entrar en contexto y así continuar los desarrollos aplicando estos resultados. Las encuestas asumen que su público tiene un conocimiento general del campo.
Experimentos	Documentos en los que su validación se presenta como una forma de estudio empírico en el cual el investigador tiene control sobre algunas de las condiciones en las que el estudio se lleva a cabo, tales como, áreas y tipo de tareas; duración de las tareas; muestra y la población objetivo de los experimentos.
Experiencias	Documentos en los que el tema que se trata no exige que deba realizar un aporte novedoso al campo del conocimiento. El objetivo es dar un informe bien detallado de la aplicación realizada; no requieren discutir nuevas ideas ni trabajos relacionados a través de la literatura.
Teórica	Documentos que son relevantes para la práctica; tienden a ser metodológicos y presentan métodos y algoritmos computacionales. Permiten conducir a los sistemas para mejorar la práctica. Pueden hacer frente a temas filosóficos y sociológicos sobre todos los aspectos de la producción de software y el uso, incluida la ética. También incluyen estudios y revisiones de la literatura.

- **Dimensión de la tecnología utilizada:** esta dimensión permite determinar sobre qué áreas tecnológicas se están llevando a cabo los estudios, de modo que provea una visión general en cuanto a la determinación de atributos y características, encaminada a obtener un modelo genérico aplicable tanto

a la perspectiva técnica como a la perspectiva del usuario en lo que respecta a la calidad de servicios soportados por TI. De esta manera, se elaboró una clasificación inicial de tecnologías de acuerdo con la información obtenida de los estudios encontrados y revisados; sin embargo, estas tecnologías se enmarcaron en áreas específicas como se relaciona en la Tabla 5.

TABLA V
TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LA CALIDAD DE SERVICIOS
SOPORTADOS POR TI DE ACUERDO CON LOS ESTUDIOS ENCONTRADOS

TECNOLOGÍA	ENMARCADA EN
Servicios web	Servicios WEB
Redes celulares	Redes
Cloud Computing	Cloud Computing
Redes inalámbricas	Redes
Sistemas Operativos	Sistemas Operativos
Optical switching technologies	Redes
Internet	Internet
Sistemas de información	Sistemas de información
Internet de las cosas	Internet
Administración de Sistemas	Administración de Sistemas
SOA	Servicios WEB
Fibra óptica	Redes
Redes multimedia inalámbricas	Redes
Redes neurales	Redes
Software orientado al servicio	Servicios WEB
Video	Video
Redes móviles	Redes
Ingeniería del software/Calidad	Ingeniería del software/Calidad
IPTV	Video
Telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Redes IP	Redes
e-Services	Internet

- **Dimensión del área de aplicación:** determinada la tecnología de los estudios primarios, es importante conocer si estos han sido aplicados sobre un área específica de negocio (banca, salud, educación, industria, etc.). Determinar esta dimensión, es el punto de partida para establecer un modelo de calidad de servicios aplicable a cualquier área. Sin embargo, y una vez revisados los estudios, se evidencia que de 46 estudios primarios obtenidos, solo un estudio extiende su área de aplicación a la banca, razón por la cual, se define esta dimensión, pero no se tabula la información por ser insuficiente para mostrar resultados.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Respecto de los resultados preliminares del mapeo sistemático y una vez definidas las dimensiones del mismo, se procedió a determinar la relación de cada una de estas con respecto a la dimensión principal definida como “Dimensión de características de calidad”. En este sentido, se definieron tres gráficas de burbujas que permiten evidenciar cuáles son las características sobre las que se han adelantado más estudios con relación a los resultados esperados de la investigación y los métodos de evaluación y las tecnologías sobre las que se realizan dichos estudios. La dimensión del área de aplicación no se grafica por falta de información.

Se puede evidenciar en la Fig. 2 que independientemente del resultado de investigación, los estudios se centran en las características de desempeño y confiabilidad. Se puede concluir que en el caso concreto de los estudios que se enfocan en el desempeño, la totalidad de los estudios evaluados se centran en la calidad del producto, sin poder concluir nada concreto en relación con la calidad de servicios TI.

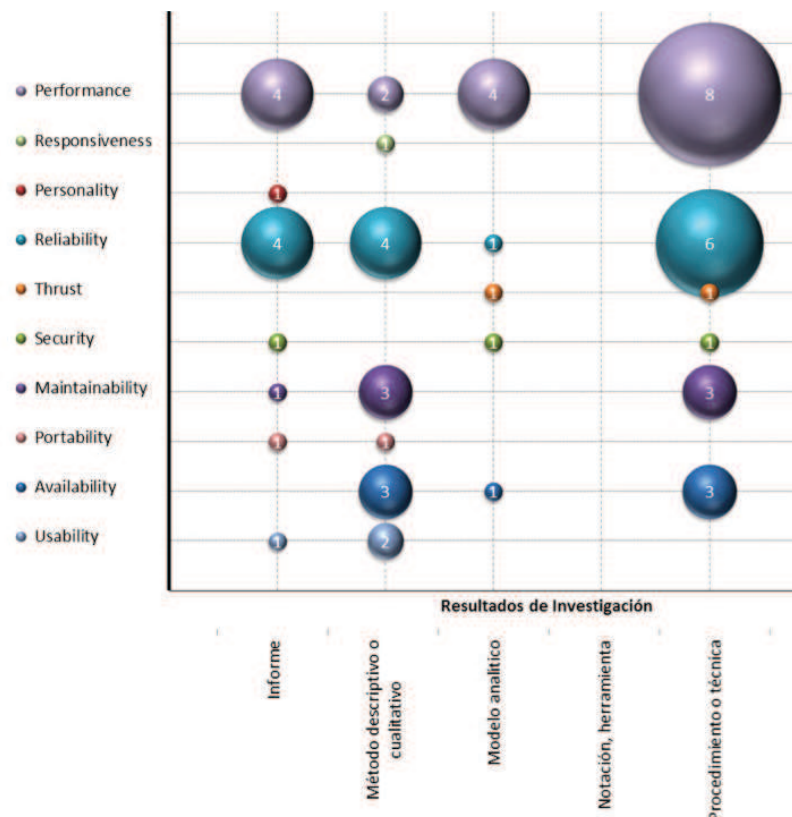


Fig. 2 Dimensión de resultados de investigación vs. Características

Con respecto a los métodos de evaluación, es evidente, de acuerdo con la Fig. 3, que la mayoría de estudios son experimentales, lo que permite

evidenciar que no se encuentra suficiente información para definir las áreas de aplicación de los mismos.

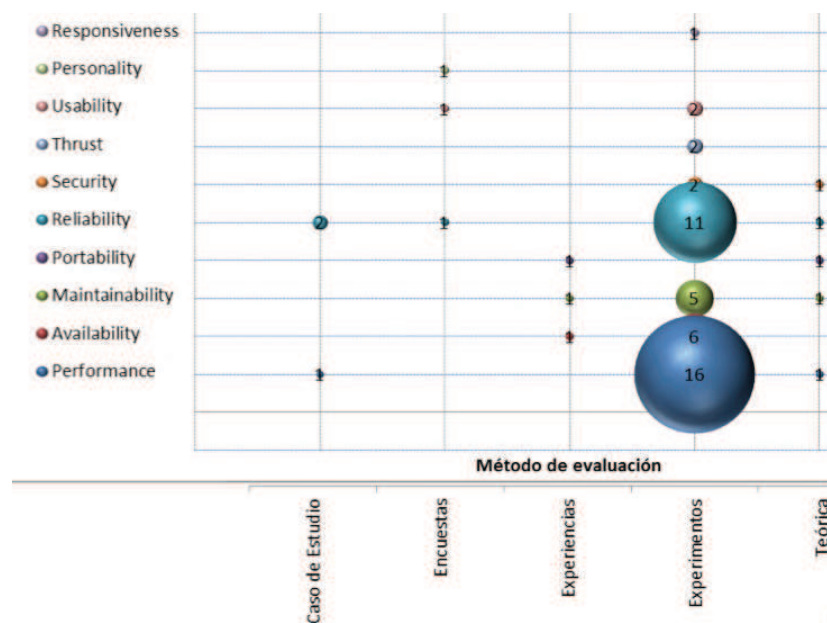


Fig. 3 Dimensión de métodos de evaluación vs. Característica de calidad

La Fig. 4 relaciona las tecnologías sobre las cuales se basan los estudios, y en ella, hay una concentración alta en investigaciones que se desarrollan sobre redes

de comunicaciones y todas las áreas que estas comprenden, pero enfocadas a los elementos de calidad que tienen que ver con la característica del desempeño

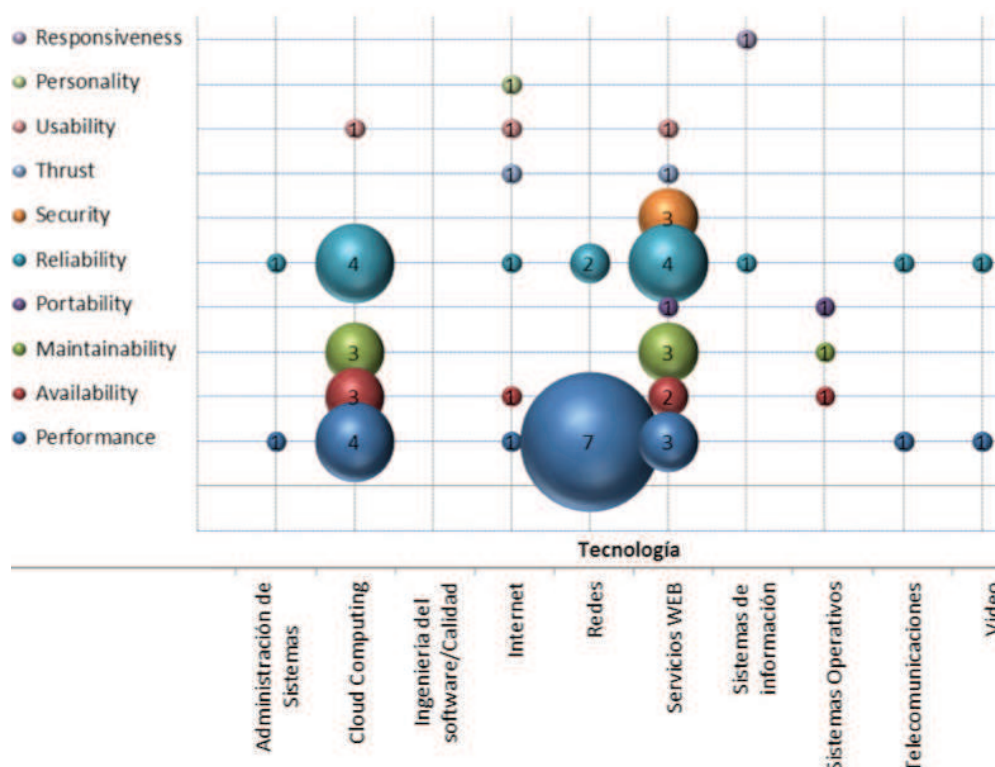


Fig. 4 Dimensión de tecnología vs. Característica de calidad

Otras tecnologías importantes como servicios Web y *Cloud Computing* tienen un alto volumen de información, pero se distribuyen de manera más general sobre la mayoría de las características definidas para el presente estudio. Además se puede establecer, de acuerdo con el mapeo sistemático, que hay una fuerte tendencia a desarrollar estudios de investigación en tecnologías específicas como *cloud computing* y Servicios Web; para el resto de tecnologías se tienen estudios aislados que invitan a profundizar investigaciones en este sentido.

En relación con las características se nota una distribución más uniforme; sin embargo, los estudios que tienen que ver con desempeño cuentan con un gran porcentaje de los estudios relacionados con redes de comunicaciones seguido por la confiabilidad en *Cloud*, servicios Web y redes.

A. Discusión

Realizado el ejercicio de analizar el mapeo sistemático, se identificaron elementos de calidad, los cuales se asociaron a una característica definida en los modelos de calidad descritos anteriormente. Dicha característica puede estar inmersa en uno o varios modelos; no obstante, se seleccionó el modelo teniendo en cuenta la perspectiva sobre la que se elabora cada estudio revisado. A continuación, se listan las características encontradas, así como su definición enmarcada en los modelos relacionados en el presente documento.

1) Performance. De acuerdo con los modelos de referencia considerados para determinar los elementos de calidad de servicios, *Performance* se define como:

- Una característica que representa el desempeño relativo a la cantidad de recursos utilizados bajo determinadas condiciones [5], de acuerdo con este referente.
- La capacidad de respuesta del servicio [8], lo cual hace referencia al grado en el que el servicio está listo y habilitado para ayudar a los usuarios de una manera rápida y oportuna.
- El manejo eficaz de los problemas y su respuesta a través del proveedor. [21].

Considerando estas definiciones, se puede sintetizar que la característica de *Performance* en el contexto de la calidad del servicio debe estar relacionada con la capacidad de respuesta del servicio, el manejo eficaz de problemas y su solución, así como con los recursos consumidos para la prestación del servicio. Estos criterios se logran soportar a partir del proceso del mapeo sistemático en el que se dan a conocer elementos de calidad relacionados con:

- La infraestructura del canal de transmisión sobre la cual se soporta el servicio, como *Cost, Transmit rate of video, Packet delivery ratio, Jitter, Throughput*, etc.
- La prestación del servicio, como la operabilidad, el tiempo de respuesta o la escalabilidad.

2) Confiabilidad. La capacidad de un sistema o componente para desempeñar las funciones especificadas, cuando se usa bajo unas condiciones y periodo de tiempo determinados. [22]:

- Un aspecto que está asociado al correcto funcionamiento técnico de un sitio Web y al cumplimiento de las promesas ofrecidas como parte del servicio [21].
- La exactitud de cumplimiento de órdenes, puntualidad y precisión relacionada con la facturación [13].
- Grado en que un servicio es continuo, recuperable y disponible [8].

La confiabilidad es seguramente una de las características de calidad más relevantes en lo que respecta tanto al producto como al servicio. En este orden de ideas y de acuerdo con las definiciones obtenidas de los modelos de referencia, se puede afirmar que la confiabilidad es sinónimo de buen funcionamiento, el cual a su vez y en lo que al servicio respecta, debe ser tenido en cuenta tanto desde la perspectiva técnica (infraestructura que soporta el servicio TI), como desde la perspectiva misma de la prestación. Factores como la tasa de error de la transmisión de paquetes en el canal de red, pueden determinar la percepción de un usuario relacionada con el servicio que está consumiendo; si la tasa de error es alta, la calidad tiende a bajar independientemente de la buena disposición del equipo humano que soporta la prestación. Inversamente, si el equipo humano que soporta la prestación del servicio al cliente no es acorde con las necesidades del cliente, este no estará satisfecho con el servicio aun cuando haya una excelente infraestructura técnica como canales de red y equipos de cómputo que faciliten la operación del mismo.

3) Mantenibilidad. Capacidad del productosoftware para ser modificado efectiva y eficientemente, debido a necesidades evolutivas, correctivas o perfectivas [5].

A pesar de que no se tiene referencia de mantenibilidad respecto de los modelos relacionados con calidad de servicios, la posibilidad de extender esta característica a la prestación misma del servicio es viable, pues al igual que el producto software, el servicio evoluciona y es necesario ajustarlo dependiendo de las políticas y necesidades mismas de los usuarios sin que estos se vean afectados en la prestación.

4) Seguridad. Capacidad de protección de la información y de los datos de manera que personas o sistemas no autorizados no puedan leerlos o modificarlos [5].

- Grado en el que un servicio protege los activos del cliente y el acceso a su información y datos,

el de otras personas, productos o sistemas, ofreciendo la forma apropiada de acceso a sus tipos y niveles de autorización [8].

- Grado en el que un cliente cree que un sitio es seguro de intrusiones, manteniendo su información personal protegida [21], [13].

Las definiciones arriba descritas, aunque establecen contextos diferentes, se enfocan en un criterio común que es la protección de la información del usuario, sin importar el nivel o la perspectiva sobre la cual se enfoque el servicio. Es importante en este sentido, asegurar criterios de privacidad y acceso a datos en la capa técnica de infraestructura y equipos que almacenen y establecen el flujo del servicio, así como garantizar la protección y privacidad de la información suministrada por parte del cliente al proveedor en relación con la prestación del servicio.

5) Disponibilidad. Capacidad del sistema o componente de estar operativo y accesible para su uso cuando se requiere [5].

- Grado en el que un servicio está disponible y accesible cuando se requiere su utilización [8].

Haciendo una revisión general acerca de la literatura encontrada sobre la característica de disponibilidad, se observa que la mayor parte de esta, se relaciona con equipos, canales de transmisión, sistemas y demás. En este contexto, es importante esta relación para el presente estudio pues lo que se busca es encontrar características de calidad que soporten un servicio TI. Sin embargo, lo anterior solo se asocia a la perspectiva del proveedor del servicio, dejando la parte de la prestación un poco relegada. Para solventar este aspecto, la prestación del servicio involucra la dimensión de acceso, la cual busca garantizar que el usuario pueda usar el servicio en el momento que así lo requiera [20]; esto incluye la comunicación disponible con mesas de ayuda y contactos

a través de diferentes canales, por ejemplo, *chats* o líneas telefónicas [13].

6) Portabilidad. Grado de eficacia y eficiencia en el que un sistema, producto o componente puede ser transferido de un hardware, software u otro ambiente operacional de uso a otro [5].

Evaluando los modelos que se han tomado como referencia para definir elementos de calidad, se encuentra que la portabilidad no está enmarcada en el servicio, de ahí, que esta característica propia del producto, se podría tener en cuenta solo para evaluar la calidad únicamente desde el lado del proveedor en un aspecto netamente técnico.

7) Capacidad de respuesta. Grado en el que el servicio está listo y habilitado para ayudar a los usuarios de una manera rápida y oportuna [8].

- La respuesta oportuna a las consultas de los clientes por medio de correos electrónicos o llamadas telefónicas, así como la velocidad de búsqueda y búsqueda amigable en el sitio Web [13].
- La respuesta oportuna y la capacidad de ayudar si hay un problema o pregunta [21].

De acuerdo con los modelos tomados como base para este estudio, la capacidad de respuesta está más asociada al servicio que al producto; por tanto, esta característica toma gran importancia para el propósito de este estudio, entendiéndola como factor determinante al momento de prestar un servicio soportado por TI, pues implica ofrecer al usuario una estructura suficientemente robusta en pro de minimizar los tiempos muertos en la atención oportuna relacionada con el servicio y la infraestructura que lo soporta, como canales de red, equipos de cómputo, etc.

8) Eficiencia. Cantidad utilizada de recursos en relación con la exactitud y completitud con la cual los usuarios logran sus objetivos [5].

- El sitio es simple de usar, estructurado apropiadamente y requiere la mínima cantidad de información para las entradas de usuario [21].

Esta característica, de acuerdo con las definiciones presentadas, está muy asociada a la característica del desempeño en el sentido de que se busca optimizar la cantidad de recursos utilizados en la prestación de un servicio o actividad. Queda como propósito de esta investigación determinar, a partir de un análisis más detallado de la literatura, si este concepto más que una característica se define como una sub-característica del desempeño.

9) Modificabilidad. Grado en el cual, el diseño de un producto o sistema puede ser efectivo y eficientemente modificado sin introducir defectos o degradar la calidad del producto o sistema existente.

- Grado en el cual, el diseño de un servicio puede ser efectivo y eficientemente modificado sin introducir defectos o degradar la calidad del servicio existente.

En relación con servicios *online*, la modificabilidad está asociada a la característica de la personalización la cual indica qué tan fácilmente puede ser modificado un sitio de acuerdo con las preferencias individuales, historias y formas de compra de los clientes [21].

Es claro, de acuerdo con las definiciones anteriores, que la modificabilidad va encaminada en la misma dirección, tanto de producto como de servicio, pues desde la perspectiva del proveedor y técnicamente hablando, lo que se busca es mantener estable el producto que soporta el servicio de

modo que los cambios que se hagan sean transparentes al usuario final. Por su parte, cuando ocurre un cambio en los procesos, las políticas y/o gestión del servicio, sucede el mismo fenómeno, pues la intención con esta característica radica en que el usuario no perciba errores o mal funcionamiento cuando se modifica algún proceso relacionado con el servicio.

10) Satisfacción. Grado en el que las necesidades del usuario son satisfechas cuando un servicio es usado en un contexto específico de uso [8].

La satisfacción de acuerdo con la norma ISO/IEC 25011 tiende a confundirse con la empatía; al respecto se aclara, que la empatía se mide desde el punto de vista del proveedor del servicio, mientras que la satisfacción se relaciona y se mide por la experiencia del usuario [8]. Dado el contexto en el que se desarrolla este estudio, es necesario, por lo menos en las primeras etapas, considerar las dos características pues el desarrollo de un modelo de calidad de servicios soportados por TI busca de manera general mantener las características del servicio, así como la infraestructura que lo sustenta.

B. Aproximación al modelo de calidad de servicios soportados por TI

Con respecto a una primera aproximación al modelo de calidad de servicios soportados por TI, se establece la estructura definida en la Fig. 5, en la que se determinan primero las características, las cuales, a su vez, se componen de sub-características o atributos. Las sub-características, por su parte, estarán nutridas de un conjunto de uno o más atributos de calidad de servicios.

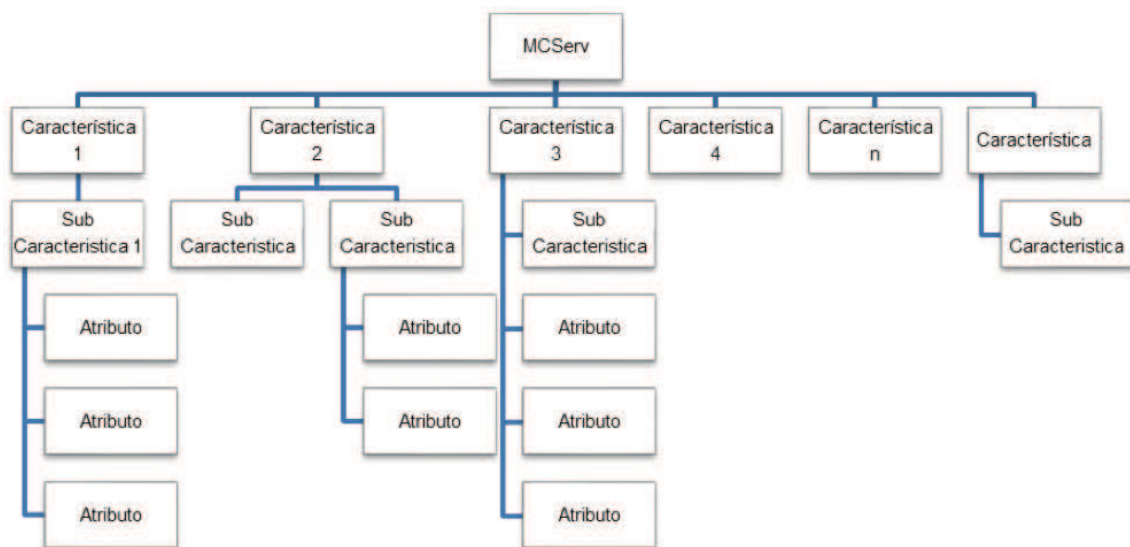


Fig. 5 Estructura general del modelo

Un primer ejercicio de definición del modelo se ha elaborado con base en los elementos de mantenibilidad, satisfacción y eficiencia.

1) Mantenibilidad. Apoyado en los modelos de referencia se han obtenido las definiciones más apropiadas, así como la sub característica y los atributos asociados a este concepto. La Fig. 6 muestra su distribución.

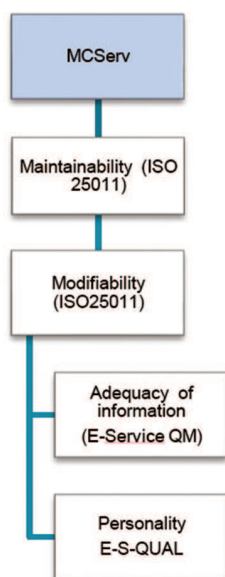


Fig. 6 Estructura del modelo de calidad de servicios asociado a la característica de mantenibilidad.

La Fig. 6, entonces, muestra la primera aproximación real a la estructura general del modelo de calidad de servicios soportados por TI. En este caso, se ha definido la característica de mantenibilidad cuyo concepto se ha derivado del modelo de calidad ISO/IEC 25011. A su vez, esta característica de calidad está compuesta por la sub-característica de calidad, modificabilidad, cuya definición también está soportada por el modelo de calidad ISO/IEC 25011.

En relación con los atributos de calidad encontrados en el mapeo sistemático y clasificados previamente, se encuentra que adecuación de la información y personalización son atributos que pertenecen a la sub-característica de modificabilidad. En este caso, las definiciones de estos atributos están basadas en los modelos de calidad *E-Service Quality Model* [13] e *E-S-Qual* [21], fig. 6.

2) Satisfacción. Se ha profundizado en el análisis de la satisfacción del usuario y en las implicaciones que esto conlleva respecto del modelo. En este sentido, [8] la define como una característica que mide el grado mediante el cual, las necesidades del usuario son satisfechas en un contexto de uso específico. Sin embargo, la definición de este término obedece a un concepto mucho más amplio en el sentido que abarca varias características que

solo en conjunto dan cumplimiento a este concepto. Para fortalecer tal afirmación, [23] define la satisfacción como los sentimientos de placer o decepción resultantes de comparar el desempeño percibido de un producto en relación con sus expectativas. [24] afirma que la satisfacción es una colección de percepción, evaluación y reacción psicológica de la experiencia de consumo de un producto o un servicio. [25], por su parte, la define como una creencia del consumidor de que fue tratado bastante bien. [26] menciona en su estudio que la satisfacción del usuario es un constructo multidimensional y que esas dimensiones podrían ser impactadas por varios de los componentes de la calidad del servicio. Lo anterior implica que, para efectos del modelo de calidad de servicios soportados por TI, la satisfacción está asociada a la calidad de servicio en uso por parte del cliente; en este caso, se desvincula como característica del modelo de calidad, pero da paso a la creación de un segundo modelo relacionado con la utilización del servicio.

3) Eficiencia. Finalmente, y como parte del proceso de modelado, se analizó la característica de la eficiencia. En este caso, la norma ISO/IEC 9126 [4] la considera dentro de las características de calidad internas y externas relacionadas con el software. Realizando un análisis del mapeo sistemático previo, se han encontrado otros elementos de calidad asociados a esta característica. Estos son:

- **Desempeño.** Elemento de calidad asociado a las características de calidad del hardware [27]. La norma ISO/IEC 25010 se refiere a este elemento como la cantidad de recursos utilizados por un producto en ciertas condiciones de funcionamiento [5]. Vale la pena decir que los elementos de calidad asociados al producto, si bien son importantes para la prestación del servicio, no se tendrán en cuenta para la definición del presente modelo dado que ya están considerados ampliamente en otros modelos de calidad.
- **Usabilidad.** Elemento de calidad que se materializa en la utilización del servicio y no en las

características del mismo. De este elemento se derivan los atributos, interacción, facilidad de uso y accesibilidad, encontrados en el mapeo sistemático.

Una primera aproximación a la definición de las características de satisfacción y eficiencia en el modelo de calidad de servicios en uso se muestra en la Fig. 7.

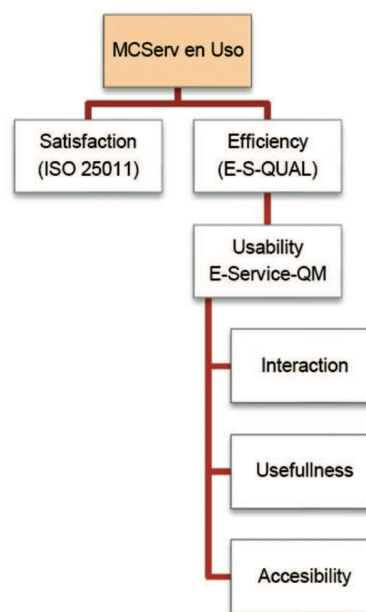


Fig. 7 Estructura del modelo de calidad de servicios en uso asociado a las características de satisfacción y eficiencia.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los resultados preliminares de este estudio permiten concluir que, en el contexto de las tecnologías de la información, hay varias iniciativas relacionadas con la definición de modelos de calidad de servicios; sin embargo, estos modelos se centran en áreas específicas de negocio, como, banca, transporte, comercio electrónico, etc. Debido a esto, se ha propuesto la construcción de un modelo de calidad soportado por TI aplicable a cualquier área de negocio cuya primera aproximación relacionada con la identificación de elementos de calidad, evidencia que la mayor parte de elementos corresponden a características, subcaracterísticas, atributos y métricas de calidad enfocados al producto software. Así mismo, los elementos

de calidad relacionados con la calidad del servicio se encuentran de manera aislada sin ofrecer una relación directa entre la perspectiva del usuario y la del proveedor, entendiendo que, la calidad de servicios soportados por TI, se ve afectada directamente por la calidad del producto y de los canales de transmisión que soportan dichos servicios. De esta manera, se estableció la necesidad de definir un modelo que dé soporte transversal a las dos perspectivas. Finalmente y una vez aplicado un primer ciclo al mapeo sistemático, se encontró que en la mayor parte de los estudios no se establece de manera concreta la dimensión relacionada con el área de negocio ya que son enfoques experimentales.

Como parte del trabajo futuro, está la realización de una o varias iteraciones del mapeo sistemático que permitan obtener la mayor cantidad de elementos de calidad adicionales a los elementos encontrados en esta revisión. Una vez realizadas estas iteraciones, se clasificarán los nuevos elementos encontrados a partir de los modelos de referencia descritos en la dimensión de características de calidad. Establecidos y clasificados estos elementos, se definirá la estructura total del modelo.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto *Modelo de calidad de servicios soportado por TI* (Vicerrectoría de Investigaciones de Unicauca - VRI ID 4358). Los autores agradecen a la Universidad del Cauca donde John Fredy Martínez cursa la Maestría en Computación y Francisco J. Pino trabaja como profesor titular.

REFERENCIAS

- [1] P. Manuel, «A trust model of cloud computing based on Quality of Service,» *Kuwait University, Research Grant No. [WI 07/11]*, 2013.
- [2] A. Z. V. A. & B. L. L. Parasuraman, «A conceptual model of service quality and its implications for future research,» *the Journal of Marketing*, pp. 41-50, 1985.
- [3] J. A. R. P. K. a. W. G. F. McCall, «Factors in Software Quality, Vols I, II, III,» Springfield, 1977.
- [4] International Organization for Standardization, «ISO/IEC 9126. "Information technology – Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use,» Ginebra, 2001.
- [5] ISO/IEC, «ISO/IEC 25010 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models,» 2011.
- [6] ITIL, ITIL® Continual Service Improvement, TSO (The Stationery Office), 2011, pp. 16-17.
- [7] Conecyt y Nextel, S. A., ISO/IEC 20000 para pymes. Cómo implantar un sistema de gestión de los servicios de tecnologías de la información, Madrid: AENOR Ediciones, 2010.
- [8] ISO/IEC, «ISO/IEC CD 25011.3 Information technology – Service Quality Requirement and Evaluation (SQuaRE) – Service Quality Model,» 2015.
- [9] SEI, Capability Maturity Model for Software - CMMI for Services V1.3., Pittsburg, Pennsylvania: Software Engineering Institute (SEI), 2010.
- [10] D.-H. Jeong, J. Kim, M. Hwang y S.-K. Song, «Analytics Service Assessment and Comparison Using Information Service Quality Evaluation Model,» *International Journal of Information Processing and Management(IJIPM)*, vol. 4, nº 4.4, 2013.
- [11] H. Lee, J. Jang y C. Cho, «Developing e-ServQual for Educational Websites,» *Journal of Education and Vocational Research*, vol. 4, pp. 10-17, 2013.
- [12] A. J. V. S. Broderick, «Service quality in internet banking: the importance of customer role,» *Marketing Intelligence & Planning*, pp. 327-335, 2002.
- [13] J. Santos, «E-service quality: a model of virtual service quality dimensions,» *Managing Service Quality: An International Journal*, pp. 233-246, 2003.
- [14] H. H. Bauer, M. Hammerschmidt y T. Falk, «Measuring the quality of e-banking portals,» *International Journal of Bank Marketing*, pp. 153-175, 2005.
- [15] K. F. R. M. S. & M. M. Petersen, «Systematic mapping studies in software engineering,» *EASE'08 Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, pp. 68-77, 2008.
- [16] S. Meliá, C. Cachero y Y. Martinez, «Evidencia empírica sobre mejoras en productividad y calidad en enfoques MDD: un mapeo sistemático,» *REICIS Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, pp. 6-27, 2011.
- [17] Elsevier B.V. , «Scopus,» 01 2015. [En línea]. Available: <http://www.scopus.com/>. [Último acceso: 01 2015].
- [18] M. Shaw, «What Makes Good Research in Software Engineering?,» *International Journal of Software Tools for Technology Transfer*, vol. 4, nº 1, pp. 1-7, 2002.
- [19] L. P. Montesi. M., «Software engineering article types: An analysis of the literature,» *Journal of Systems and Software*, p. 1694–1714, 2008.
- [20] V. A. P. A. & M. A. Zeithaml, «Service quality delivery through web sites: a critical review of extant knowledge,» *Journal of the academy of marketing science*, pp. 362-375, 2002.

- [21] V. A. Zeithaml, A. Parasuraman y A. Malhotra, «A Conceptual Framework for Understanding E-Service Quality: Implications for Future Research and Managerial Practice (No. 00–115),» *Journal of Service Research*, pp. 1-21, 2005.
- [22] ISO, «System and software quality models,» Ginebra, 2011.
- [23] P. Kotler, «Marketing Management,» International Edition, New Jersey, 2000.
- [24] Y. Yi, «A Critical Review of Consumer Satisfaction,» Michigan, 1989.
- [25] K. Hunt, «Consumer Satisfaction, Dissatisfaction, and Complaining Behavior,» *Journal of Social Issues*, vol. 47, n° 1, pp. 107-117, 1991.
- [26] W. Lassar, C. Manolis y R. D. Winsor, «Service quality perspectives and satisfaction in private banking,» *JOURNAL OF SERVICES MARKETING*, vol. 14, n° 3, pp. 244-271, 2000.
- [27] W. Abramowicz, R. Hofman, W. Suryan y D. Zyskowski, «SQuaRE based Web Services Quality Model,» *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, vol. I, pp. 19-21, 2008.

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO -IRCA- Y SU RELACIÓN CON VARIABLES METEOROLÓGICAS Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA EN LOS AÑOS 2012 – 2013

ANALYSIS OF THE RISK INDEX OF THE WATER QUALITY FOR HUMAN CONSUMPTION -IRCA- AND ITS RELATION WITH METEOROLOGICAL VARIABLES AND GEOGRAPHICAL LOCATION FOR THE TOLIMA DEPARTMENT IN THE YEARS 2012 - 2013



¹Víctor Leonardo López Jiménez, ²Judy Johanna Martínez Ramos, ³Diana Paola Almario Guio

Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia,

¹vlopez@unisalle.edu.co

²judmartinezr@gmail.com

³dialmario@gmail.com

Recibido: 10/08/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló con el fin de contribuir a la gestión de mejora continua en el proceso de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. A través del análisis de la información reportada por el Sistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Sivicap, con el coeficiente de Pearson como herramienta estadística, se determinaron las correlaciones entre parámetros que componen el IRCA, para evidenciar las posibles mejoras acerca del cálculo de este índice y su planteamiento. Se estableció la relación entre variables meteorológicas con el IRCA, consolidando estas en mapas temáticos, lo cual permite un análisis más detallado del mismo por municipio, con base en las condiciones geográficas del área de estudio. Finalmente, se formularon alternativas de mejoramiento dirigidas a las acciones de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. De esta manera, se identificaron las inconsistencias de la información reportada por el Sivicap, que refiere principalmente al incumplimiento de la Resolución 2115 de 2007, en relación con los parámetros de medición de las características físicas, químicas y microbiológicas; además, se estableció la alteración del índice por factores externos como el clima, aumentando su resultado en presencia de fenómenos de precipitación y temperatura pronunciados. El resultado de este estudio, conlleva a determinar los factores que intervienen en la variación del índice, proporcionando así, información pertinente que puede aplicarse como argumento para la toma de decisiones y gestión de los entes responsables de la calidad del agua.

Palabras clave: agua potable, calidad del agua, condiciones meteorológicas, IRCA, ubicación geográfica.

ABSTRACT

This project was developed in order to contribute to the management of continuous improvement in the process of monitoring and control of the water quality for human consumption, in the department of Tolima. Through the analysis of the information reported by the information system for monitoring the quality of water for human consumption, Sivicap, with the Pearson coefficient as statistical tool, the correlations between parameters which are part of the IRCA were determined, to demonstrate the possible improvements regarding the calculation of this index and its approach. The relationship between weather variables and the IRCA was established, consolidating these in thematic maps, which allows a more detailed analysis of the same, by municipality, on the basis of geographical conditions in the study area. Finally, alternatives of improvement were formulated and addressed to the actions of control and surveillance of the water quality for human consumption. In this way, inconsistencies in the information reported by the SIVICAP were found, which mainly refer to non-compliance of the resolution 2115 of 2007, related to the measurement parameters of physical, chemical and microbiological characteristics; In addition, alteration of the index by external factors, such as weather, was established, increasing its result in the presence of pronounced phenomena of precipitation and temperature. The result of this study, leads to determine the factors involved in the variation of the index, thus, providing relevant information that can be applied as an argument for decision-making and management of entities responsible for the water quality.

Keywords: drinking water, geographical location, IRCA, meteorological conditions, water quality.



I. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en la salud pública; en Colombia, las deficientes condiciones sanitarias asociadas a la pobreza y al deterioro ambiental, al igual que las falencias en la prestación del servicio y la falta de cobertura del mismo, ha generado que en zonas urbanas alejadas o en zonas rurales se incremente el porcentaje de enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada [1]. Por tal razón, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos sobre la salud humana, se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano con el Decreto 1575 de 2007, el cual define los instrumentos, así como las funciones y acciones, que permiten una gestión coordinada entre los responsables de la garantía de la calidad del agua, destacando las acciones de control de las personas prestadoras, la función de vigilancia de las autoridades sanitarias de los departamentos y la gestión de reglamentación y diseño de protocolos

de los Ministerios de Salud y Protección Social, y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, incluyendo al Instituto Nacional de Salud, el cual ha desarrollado el aplicativo Sivicap, que permite a todas las autoridades sanitarias departamentales reportar los datos de la vigilancia de la calidad del agua en función de sus actividades de inspección, vigilancia y control en el país [2].

La importancia de la calidad del agua en Colombia se ha convertido en una temática con mayor relevancia en la última década, de tal manera, que el acceso a agua potable y el saneamiento han aumentado significativamente en comparación con años anteriores. En ese contexto, se han implementado en el país programas que permitan mejorar tanto la calidad del servicio de abastecimiento como la cobertura en las zonas rurales [3]. Como iniciativa, entonces, se crea el Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para consumo humano, el

cual, con base en características físico-químicas y microbiológicas del agua, determina el riesgo en la salud humana [4]. Este indicador es tenido en cuenta tanto por entidades nacionales como internacionales para establecer la calidad de agua que consume la población en todo el territorio nacional. Al tratarse de un indicador ampliamente acogido, sobre él se generan informes nacionales, departamentales y municipales, en los cuales se expone el riesgo del agua potable; como consecuencia y buscando dar cumplimiento a la normatividad, se incluyen en los proyectos de desarrollo departamentales y municipales, planes con acciones futuras para el mejoramiento del índice y, por ende, de la calidad del agua abastecida.

Para el departamento del Tolima, el tema de los servicios públicos es un componente fundamental para mejorar las condiciones de vida de los habitantes; por esto, se plantean una serie de estrategias en procura de lograr coberturas óptimas, pero, adicionalmente, con calidad, eficiencia, eficacia y continuidad en la prestación de los servicios. En el caso del agua potable y saneamiento básico, el objetivo es disminuir el IRCA; que el nivel de riesgo correspondiente a los años de estudio baje de manera continua hasta alcanzar un nivel sin riesgo, es decir, por debajo del 10% del índice de riesgo y, por tanto, reducir los casos de morbilidad y mortalidad de la población [5]. En ese marco, la correcta información sobre la calidad del agua, utilizando el IRCA como instrumento base, es fundamental para el desarrollo del departamento y conjuntamente del país; en tal sentido, la magnitud e importancia del índice se convierte en una temática atrayente. En el proceso se dispone de la información obtenida de la vigilancia de las autoridades sanitarias reportada en el Sivicap, la cual involucra factores internos comprendidos para el cálculo del índice. La aplicación de la herramienta carece hoy en día de protocolos que permitan garantizar la consistencia de los datos y muestra debilidad en la información específica relacionada con factores externos que pueden afectar el resultado del índice y que permitan evidenciar de forma integral la realidad

referente a la calidad del agua en los municipios, departamentos y regiones del país. Como consecuencia de lo anterior, el objetivo de este estudio se centró en analizar el IRCA, el comportamiento de las variables que lo componen y su relación con el régimen de precipitación y temperatura dentro del área geográfica del departamento del Tolima en el periodo 2012 – 2013.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo, que permitiera establecer causa-efecto entre los elementos y fenómenos estudiados mediante la interpretación de la información. El enfoque cuantitativo permitió ejecutar a través de métodos estadísticos las correlaciones entre variables numéricas referentes a los datos reportados del IRCA y las variables meteorológicas determinadas en el estudio. Con el análisis cualitativo, respecto del planteamiento de las correlaciones, se logró un diagnóstico de tipo descriptivo en el cual se especificaron las propiedades, características y rasgos importantes relacionados, con el fin de establecer tendencias o acciones predominantes en el manejo de la información tratada.

Se utilizó como base el consolidado municipal del IRCA para el departamento del Tolima en los años 2012 y 2013, obtenida de la base de datos del subsistema Sivicap y de la información meteorológica del Ideam; paso seguido, se definieron e implementaron criterios para seleccionar y verificar la información necesaria para cada una de las etapas que componen el análisis estadístico, todo con el fin de obtener los mejores resultados al final de estudio.

A. Criterios de selección

Inicialmente, se definió la variable independiente por correlacionar con los demás parámetros del IRCA, incluyendo como criterio base los cuatro parámetros más representativos para el cálculo del mismo; es decir, los que tienen mayor puntaje según

la resolución 2115 de 2007: turbiedad, cloro residual libre, coliformes totales y *Escherichia coli*; estos dos últimos presentaron datos que no son aplicables para el análisis estadístico por medio del Coeficiente de Pearson y fueron descartados tanto para la selección como variable independiente, como para la utilización de estos en las correlaciones. Se escogió la turbiedad como variable independiente, pues, en comparación con cloro residual libre, fue el parámetro con mayor cantidad de datos disponibles que permitió arrojar un estudio estadístico de mayor viabilidad y representatividad, además de ser uno de los parámetros del IRCA con mayor frecuencia de medición, que puede ser utilizado como indicador básico de calidad del agua potable.

Se utilizó como base la cantidad de muestras disponibles reportadas por el Sivicap en el ámbito departamental. Una vez verificada la información, se dispuso de 790 muestras para el cálculo del IRCA en 2012 y de 890 muestras para 2013, incluyendo exclusivamente los municipios que disponían de cinco muestras o más; posteriormente, se eligieron los parámetros que tenían tres o más datos respecto de la variable independiente, obteniendo para analizar 14 parámetros para el año 2012, incluyendo alcalinidad, calcio, cloruros, cloro residual libre, color, dureza total, fosfatos, hierro total, magnesio, nitratos, nitritos, pH, sulfatos y turbiedad. Adicionalmente a estos parámetros, se seleccionó aluminio, resultando 15 parámetros para el desarrollo de las correlaciones para el año 2013.

En la selección de datos para el cálculo del IRCA se incluyeron únicamente los municipios con información mayor o igual a seis meses, resaltando así 16 municipios analizados en 2012 y 25 municipios en el año 2013. Adicionalmente, para la selección de datos para correlaciones con variables meteorológicas, se tomó la información de estaciones referidas en el Atlas Climatológico de Colombia e información meteorológica del catálogo de estaciones meteorológicas del Ideam; solo se analizaron los 16 municipios donde operan estaciones meteorológicas que reportan información para los años

de estudio (2012-2013) y que por su ubicación geográfica permitieron una correlación con la información arrojada por el IRCA; de este modo, tan solo 16 municipios para el 2012 y 10 para el 2013 fueron relacionados estadísticamente.

Utilizando el programa Microsoft Excel® como herramienta de análisis de datos, se determinó en el ámbito municipal, la relación entre parámetros del IRCA en cada año y entre las variables meteorológicas con el IRCA mensual, usando como herramienta el coeficiente de correlación de Pearson. Posteriormente, se clasificaron los coeficientes obtenidos con base en correlación fuerte, moderada, débil y ninguna [6]. Por otra parte y como elemento fundamental, se determinó la significación del coeficiente de correlación, para establecer si las variables estaban relacionadas en realidad o tan solo presentaban dicha relación como consecuencia del azar, enfatizando en el análisis de correlaciones fuertes.

B. Análisis estadístico entre parámetros del IRCA

Como acción principal, se calculó el IRCA mensual en cada municipio a partir de la Ecuación 1, establecida en el artículo 14 de la Resolución 2115, lo cual se complementó con el cálculo del IRCA promedio ponderado anual para el departamento, municipios y personas prestadoras utilizando la Ecuación 2.

$$IRCA (\%) = \frac{\sum IRCA_m}{N_{m_i}} \times 100 \quad (1)$$

$$IRCA_{ppa} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (IRCA_{pm_i} * N_{m_i})}{N_{t_i}} \quad (2)$$

Donde

$IRCA_m$: IRCA de cada muestra realizada en el mes.

$IRCA_{ppa}$: IRCA promedio ponderado anual.

$IRCA_{pm_i}$: IRCA promedio mensual del mes i.

N_{m_i} : Número total de muestras tomadas en el mes i.

N_{t_i} : Número total de muestras tomadas en el año.

Se definió la variable independiente por correlacionar con los demás parámetros del IRCA a partir de los criterios de selección; luego, se calculó el Coeficiente de Pearson, clasificando los coeficientes obtenidos y determinando la significación del coeficiente para determinar las correlaciones entre los parámetros que componen el IRCA en cada municipio. Para concluir esta etapa, se analizaron los resultados obtenidos, comparando el índice en los dos años de estudio y determinando los componentes que afectan su resultado.

C. Análisis estadístico entre variables meteorológicas y condiciones físico-geográficas con el IRCA

Se estableció por medio del coeficiente de Pearson la correlación entre el IRCA mensual obtenido en la etapa anterior con las variables meteorológicas, precipitación y temperatura, para los meses con datos disponibles en los municipios previamente seleccionados; en atención a esto, de acuerdo con la fuerza de correlación obtenida y la significación del coeficiente, se analizó la relación resultante. Además del análisis estadístico, se desarrolló un análisis teórico de la influencia de las condiciones físico-geográficas del área del estudio en el comportamiento del IRCA. De todo esto, se desprendió un análisis amplio referente a las inconsistencias y falencias determinadas, que integró la calidad de la información con la cual se trabajó, la relación entre los parámetros propuestos y la fortaleza del índice frente a la realidad de la calidad del agua potable en el área de estudio; en consecuencia, se formularon alternativas de mejoramiento dirigidas a las acciones de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.

Para concluir, utilizando ARCGIS® como sistema de información geográfica se elaboraron mapas temáticos referentes a la ubicación de puntos de muestreo y distribución mensual de los valores

del IRCA para los municipios analizados, dando una muestra de lo que se propone para un análisis detallado y puntual del IRCA; para la estructuración de los mapas se referenció el año 2013, considerando la disponibilidad de información en los años de estudio. Se concluyó que más del 80% de las muestras reportadas por Sivicap no precisaban coordenadas geográficas que permitieran una ubicación exacta de los puntos; fueron ubicadas, entonces, en áreas cercanas con base en descripciones generales como el lugar y la dirección de cada punto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Análisis estadístico del IRCA

Se evidenció la baja calidad de datos frente a las muestras reportadas. Debido a que se encontraron muestras sin reporte de resultados, muestras repetidas, con insuficiente medición de parámetros e incoherencia de datos, se excluyeron del análisis del IRCA, pues alteraban significativamente su resultado, disminuyendo así la cantidad de muestras y datos utilizados para cada una de las etapas. Aun así, con la turbiedad como variable independiente, se obtuvieron las correlaciones más significativas con hierro y color aparente total en los dos años de estudio.

Utilizando el municipio de Ibagué como ejemplo de las correlaciones, debido a la mayor cantidad de muestras, se presenta el diagrama de dispersión en la Fig. 1 con su respectiva regresión lineal para los años 2012 y 2013, el cual permite calcular el coeficiente de Pearson y determinar, según su significación, la relación existente entre la turbiedad y los demás parámetros seleccionados. De este análisis se obtuvo que la turbiedad se correlaciona moderadamente con el color aparente en los dos años; igualmente, se correlaciona moderadamente con el hierro total en el año 2012.

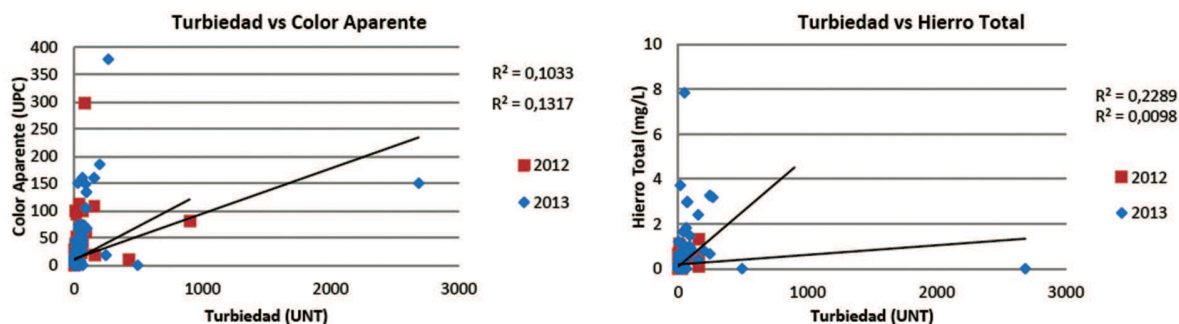


Fig. 1 Regresión lineal para correlaciones entre turbiedad con color aparente (Izq.) y turbiedad con hierro total (Der.) para los años 2012 y 2013, Ibagué.

Por otra parte, el municipio de Armero se encontraba entre los municipios de baja representatividad con relación a las muestras reportadas, por lo cual se utilizó para contrastar con los resultados obtenidos en el municipio de Ibagué; se destaca que la turbiedad se correlacionó fuertemente con hierro total y color aparente en los dos años.

Con base en los datos suministrados por el Sivicap, el cual no reporta información para los municipios de Ambalema y Planadas en el año 2012, se obtuvo el IRCA promedio anual departamental de 33,31% y 27,45% para los años 2012 y 2013, respectivamente, correspondientes a nivel de riesgo medio, comparándolo con el resultado del IRCA calculado a partir de los datos depurados y seleccionados, el cual correspondió a 41,26% para el 2012 y a 37,55% para el 2013, relativos a nivel de riesgo alto en ambos años. Esto determinó que efectivamente existen muestras con información inconsistente en el reporte del Sivicap que alteran significativamente el resultado del IRCA.

Es de anotar, que para verificar el cumplimiento de la norma respecto de la frecuencia y el número de muestras de vigilancia de la calidad física y química del agua para consumo humano que debe realizar la autoridad sanitaria en la red de distribución, es necesario conocer el número de habitantes atendidos por persona prestadora por municipio, como lo refiere el Artículo 24 de la Resolución 2115 de 2007, lo cual no se especifica en el reporte; además, la norma no contempla la medición de todos

los parámetros en una muestra, pues la frecuencia de medición se exige dependiendo de la característica, alterando de esta manera el resultado del IRCA. Aun así, según el número de muestras tomadas en cada mes para cada municipio, y basándose en el mínimo número de habitantes atendidos por persona prestadora (≤ 2.500 habitantes), se deduce que en general en el departamento no se cumple la norma en cuanto a la frecuencia mínima de muestras por analizar que corresponde a una muestra bimestral en el análisis de turbiedad, color aparente, pH y cloro residual libre, pues el mayor porcentaje de municipios no reporta información completa, a excepción de los municipios de Cajamarca y Mariquita para el año 2012 y Cajamarca, Anzoátegui y Rovira para el año 2013, los cuales corresponden al 4,44% del total de municipios que reporta información en el 2012 y al 6,38% en el 2013, cifra poco representativa para determinar un IRCA promedio anual en el departamento, influyendo en la comparación del IRCA en cada municipio; adicionalmente, no se tienen en cuenta los mismos meses para el cálculo del índice en los dos años.

Comparando el nivel de riesgo entre municipios asimiles donde se calculó el IRCA promedio anual en los dos años, se reveló un comportamiento similar, excepto en Villahermosa donde se registró un nivel de riesgo alto para 2012 y en el siguiente año se presentó sin riesgo como se observa en la Fig. 2. Sin embargo, la distribución de los puntos de muestreo no registró puntos fijos para los dos años, estableciendo que la ubicación de estos se selecciona de forma aleatoria

en cada año, lo cual influye en el resultado del IRCA y no permite realizar un análisis comparativo y de evolución que describa el IRCA para diferentes años. Más aún, el tipo de agua distribuida también influye en el comportamiento del índice, caracterizado por un mayor valor en el agua sin tratamiento, donde el IRCA calculado en el agua tratada correspondió a nivel de riesgo medio y bajo para 2012 y 2013 respectivamente; para el agua sin tratamiento se obtuvo un IRCA con nivel de riesgo alto en los dos años.

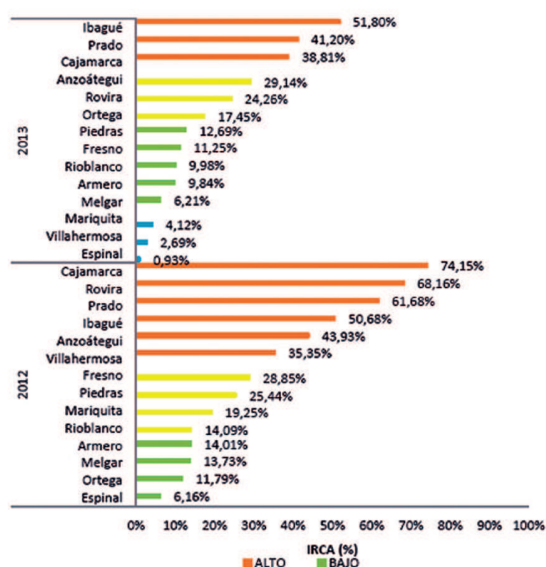


Fig. 2 Comparación del nivel de riesgo para municipios asimilados en los años 2012 y 2013.

B. Análisis entre variables meteorológicas y condiciones físico-geográficas con el IRCA

La mayoría de los puntos se ubicaron en las zonas montañosas, con mayor concentración en los centros poblados, especialmente en la ciudad de Ibagué,

destacando que la mayor cantidad de puntos de muestreo con nivel de riesgo alto se distribuyó aleatoriamente en el centro del departamento; consecuentemente, la inviabilidad sanitaria se encontró en zonas rurales cuyos puntos de muestreo se reconocieron cercanos a los cuerpos de agua, lo que permitió suponer una distribución del agua sin tratamiento previo.

Se destacaron correlaciones fuertes para el año 2012 entre el IRCA y la precipitación en los municipios de Ibagué, Piedras, Rioblanco y Villahermosa, y solo en Ibagué existió relación entre la temperatura y la calidad del agua. Se aclara que no se encontraron relaciones fuertes entre las variables y el IRCA para el año 2013. Adicionalmente, factores como la falta de información meteorológica para los años de estudio, la pobreza de la red y la falta de protocolos para el monitoreo de los parámetros que componen el índice incidieron en la obtención de un análisis estadístico limitado.

Las relaciones entre la precipitación con el IRCA establecidas en los municipios de Ibagué, Piedras y Rioblanco fueron directamente proporcionales como se puede apreciar en la Fig. 3. De esta manera, se calificó acorde con el régimen bimodal de la zona, pues, en la mayoría de los casos, en los meses más lluviosos, el valor del IRCA aumentó. Por otra parte, no se establecieron relaciones representativas para identificar la temperatura como un factor determinante en la calidad del agua para consumo humano relacionado con las fuentes de abastecimiento; únicamente se trazó relación inversamente proporcional en el municipio de Ibagué.

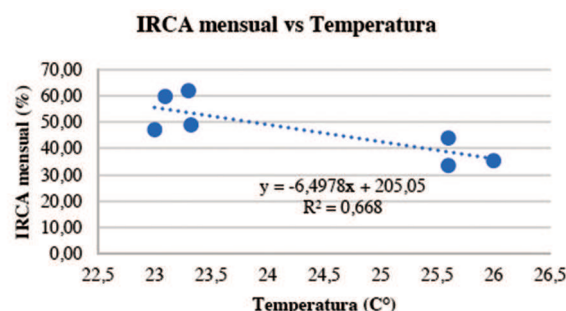
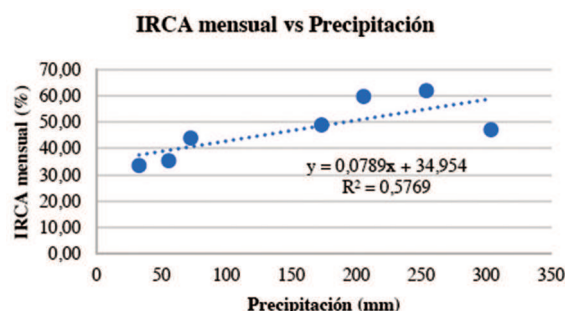


Fig. 3 Correlación de Pearson entre IRCA mensual vs Precipitación mensual (Izq.) e IRCA mensual vs Temperatura (Der.) para el municipio de Ibagué en el año 2012.

La importancia de la precipitación se da en muchos aspectos relacionados con el abastecimiento de agua, ya que las fuentes de abastecimiento, como ríos, embalses y pozos, son alimentadas directa o indirectamente por la precipitación [7]. En relación con esto, se destaca que la calidad del agua puede estar influenciada por la alteración del suelo, la degradación ambiental alrededor de las cuencas, la remoción de material y el uso de productos químicos como plaguicidas y fertilizantes, producto de las actividades económicas que se desarrollan en el municipio. La agricultura es considerada una de las principales fuentes contaminantes de los cuerpos de agua y, junto con la ganadería, se constituye en el principal factor de cambio de uso del suelo. Es decir, el despojo de la cobertura vegetal nativa, como consecuencia de la capacidad de almacenamiento de los suelos, decrece significativamente y, por tanto, la escorrentía superficial aumenta; un cambio constante de uso del suelo puede llegar a erosionarlo y bajo un evento de precipitación aumenta el arrastre de material [8].

En los municipios de Ibagué y Vistahermosa se registraron altos niveles de riesgo, seguramente, debido a factores asociados a la actividad minera que se ejecuta en la vertiente oriental de la cordillera Central donde se encuentran ubicados [9], zona caracterizada por altas precipitaciones anuales. No obstante, no se evidenció este comportamiento en el municipio de Rioblanco, pues allí, solo se registraron datos de un mismo punto de muestreo (quebrada El Quebradón). Piedras, por el contrario, es un municipio con bajas precipitaciones a lo largo del año y que presenta un paisaje de valle en los alrededores del río Opia, excluyéndolo además de actividades mineras [10]; aun así, se relacionó con la precipitación de manera directa y en los últimos meses, en los que la precipitación se mantuvo constante, el índice también lo hizo, con niveles de riesgo más bajos en comparación con los otros municipios.

Por lo mencionado anteriormente y como se aprecia en la Fig. 4, la turbiedad fue el principal parámetro alterado por el incremento de la lluvia,

aumentando a medida que la precipitación incrementaba; no obstante, también se puede presentar alteración de las características químicas del agua debido al tamaño de las partículas de los sedimentos y al volumen del carbono orgánico en partículas asociadas con los sedimentos.

Relación Precipitación -Turbiedad en el municipio de Ibagué

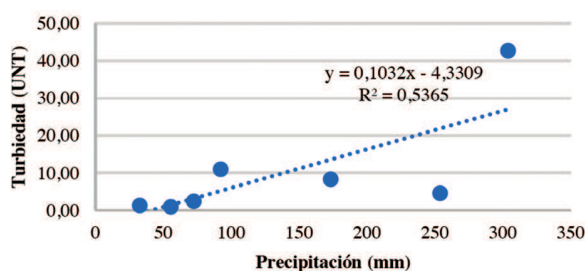


Fig. 4 Relación entre la precipitación y la turbiedad para el departamento de Ibagué en el año 2012.

Como se identifica en la Fig. 5, los picos más altos del IRCA se expusieron en los periodos de lluvia en el municipio de Rioblanco; de igual forma, como se reflejó en Ibagué y Piedras, en efecto, se encontró acorde con el comportamiento del régimen bimodal, aclarando que el 100% de la precipitación correspondía al total de la precipitación originada en los meses sobre los cuales se realizó el contraste con el IRCA.

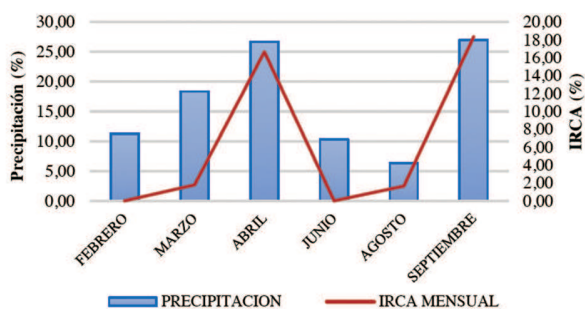


Fig. 5 Distribución mensual de la Precipitación y del IRCA mensual en el municipio Rio blanco, año 2012.

Por último, la mayor concentración de los puntos de muestreo se presentó en la ciudad de Ibagué con rangos de riesgo muy variables: desde inexistentes hasta invariables sanitariamente. Además, se estableció que

la mayoría de puntos con niveles de riesgo alto se ubicaron en zonas montañosas del departamento, ya que 85% de estos puntos se encontraban en la vertiente oriental de la cordillera Central como se establece en la Fig. 6. Esta zona cuenta con un paisaje de montaña con variabilidad climática [11], desde el piedemonte, donde se ubicaron los puntos de muestreo de la

capital ibaguereña, hasta piso páramo en puntos de muestreo en el municipio de Cajamarca. Los puntos más altos se encontraron próximos al volcán Machín con una altura de 3.550 msnm y al Nevado del Tolima con alturas cercanas a los 3.000 msnm; los puntos en la parte baja de la montaña se ubicaron a una altura alrededor de los 1.000 msnm.

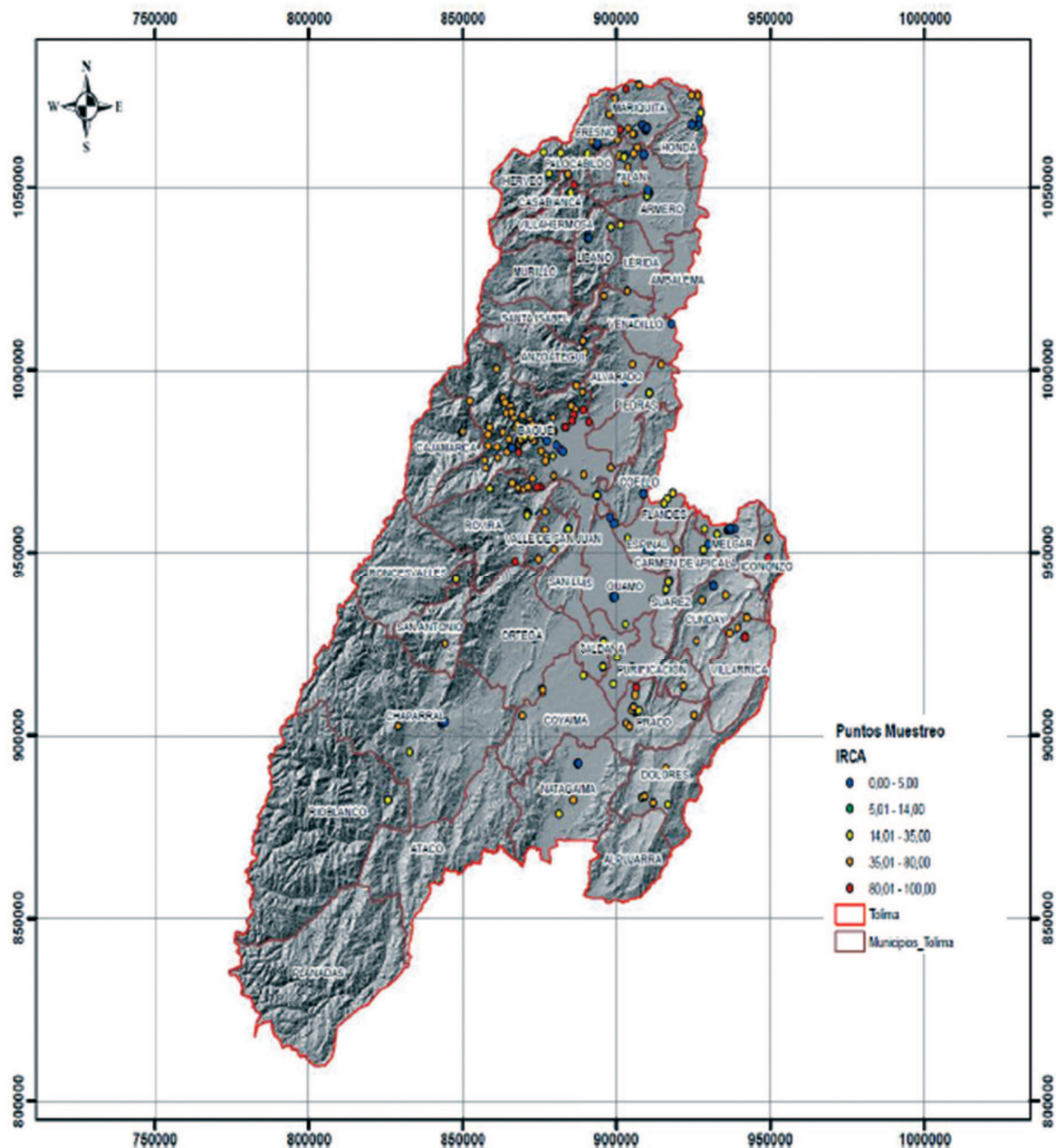


Fig. 6 Mapa de ubicación de puntos de muestreo según descripción del SIVICAP en el año 2013.

La alteración de los parámetros considerados en el análisis puede estar relacionada con el cambio extremo de uso del suelo que se ha venido evidenciando en el departamento en los últimos años, además de las actividades mineras desarrolladas sobre la cordillera Central, propiamente en el paisaje de montaña. Teniendo en cuenta que la extracción del carbón, del oro y de otros materiales y metales generan alteraciones directas en los suelos, se asume que hay una remoción y deposición del material tanto en el suelo como en el aire y que asimismo se desencadena un descapote de la cobertura vegetal [12]. Este tipo de relieve con pendientes acentuadas y una escorrentía fuertemente pronunciada por la acción de la gravedad, permite un arrastre de dichos materiales producto de la actividad minera. Bajo ese concepto, los valores más altos del IRCA pueden relacionarse con un lavado de contaminantes que son conducidos desde lo más alto de la montaña aguas arriba de los cuerpos de agua hasta centros poblados que quedan en la parte baja o en paisaje de piedemonte.

El 42% de los puntos que reportaron agua inviable sanitariamente, se establecieron cercanos e incluso aledaños a cauces de agua; un 43% de puntos se aglomeró en el municipio de Ibagué específicamente en la comuna trece a las afueras del casco urbano, puntos pertenecientes a barrios de invasión al sur que se han venido expandiendo y urbanizando y el 15% restante fueron puntos aleatoriamente distribuidos que no obedecen a ninguna tendencia hacia una característica fisiográfica.

En concordancia con lo comentado, las fuentes abastecedoras donde se ubicaron cercanos puntos de muestreo pueden afectarse por las diversas actividades desarrolladas en el departamento. También se resaltó la ubicación de Hidroeléctricas en Chaparral, Rioblanco y Roncesvalles, las cuales pueden afectar directamente los flujos de los

cauces de agua; esta alteración puede traducirse en un incremento de transporte de material particulado y la degradación ambiental. Por otro lado, cerca al embalse de Prado se hallaron puntos comprendidos en el distrito de riego del Tolima, alteraciones que se reflejan en los cuerpos de agua, tanto principales como secundarios. Los ríos alterados bajo la variación de sus cauces son, el río Magdalena, el río Cuinde, río Cucuana, río Combeima, río Alvarado y río Guali.

Se pudo establecer que la inequidad en los puntos de muestreo entre la zona urbana y rural se refleja espacialmente al momento de mostrar la distribución del nivel de riesgo en el territorio. Una vez revelados los casos más críticos del nivel de riesgo del agua en función de características fisiográficas, se hizo alusión a los riesgos medios y a la calidad de agua sin riesgo, cuyas muestras se distribuyeron 97% en zonas urbanas y el 3% restante en puntos tomados en la zona rural, de las cuales el 85% pertenece a viviendas aledañas a vías principales y secundarias. Todas estas razones permiten argumentar una falta de cobertura con respecto a la vigilancia de la calidad de agua para poblaciones alejadas a los centros urbanos. Con esto, se argumenta que el resultado del IRCA en el ámbito departamental, está dado por una baja cobertura territorial, con énfasis en las cabeceras municipales.

Se muestra en la Fig. 7, la variación del IRCA con respecto a la temporalidad, presentando las gráficas y la distribución mensual del IRCA para aquellos municipios con mayor porcentaje de muestreo (≥ 6 meses), encontrando que para algunos momentos o para algunas temporadas en el año el comportamiento de índice varió drásticamente; además, en la mayoría de los casos el índice no presentó un comportamiento constante y, por lo tanto, se asume que puede existir influencia de variables externas.

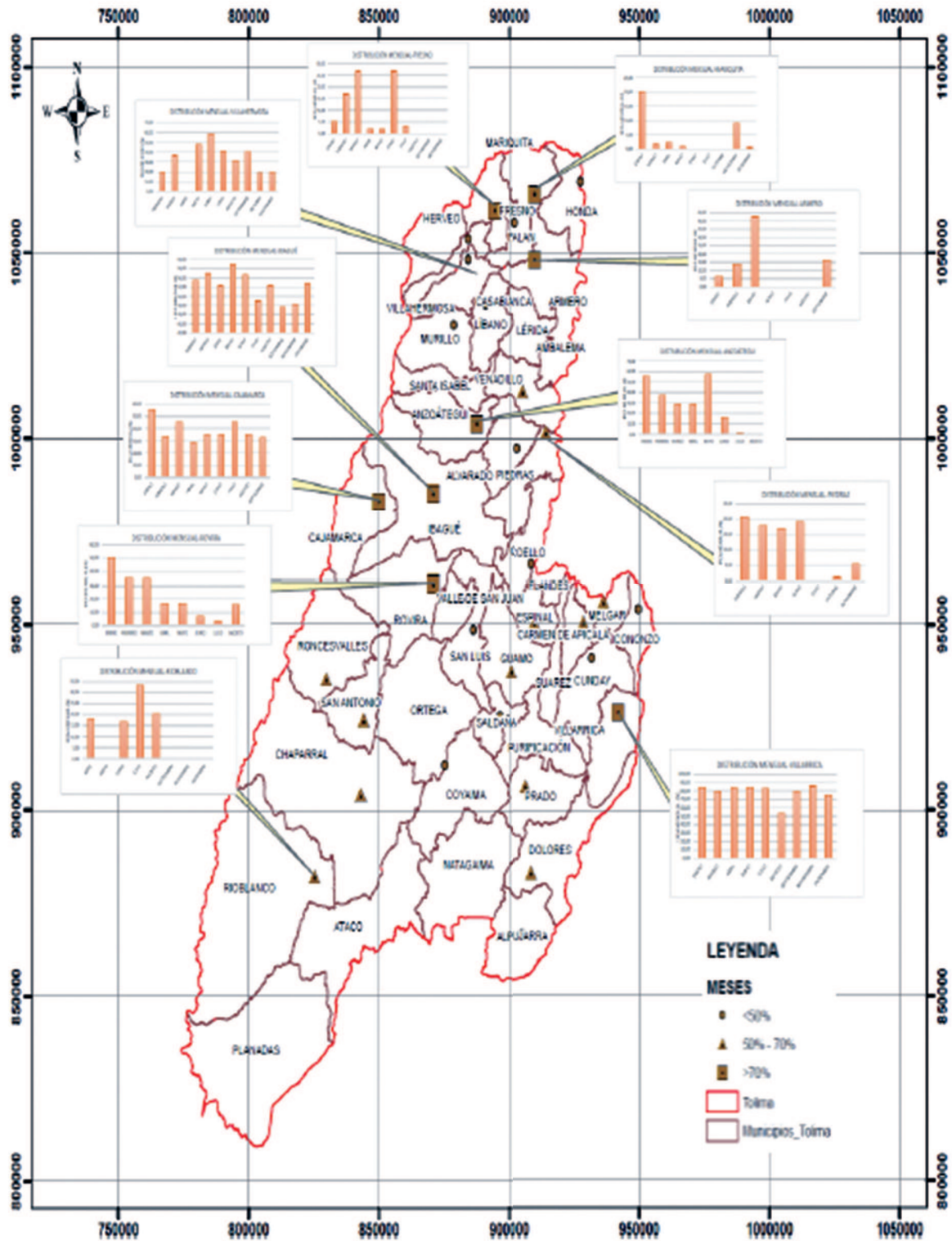


Fig. 7 Mapa de distribución mensual del IRCA en el año 2013.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es claro que aun con la expedición de la Resolución 2115 de 2007 se siguen presentando inconsistencias en la información de la calidad del agua potable reportada en la base de datos del Sivicap, ya que se evidencia la baja calidad de datos respecto de las muestras reportadas, pues se incluyen muestras repetidas, muestras sin reporte de datos y muestras que no poseen medición de parámetros suficientes para el óptimo cálculo del índice; además, alteran el resultado del IRCA y, en este sentido, a las correlaciones, debido a la falta de información consistente que permita identificar razones puntuales para explicar el comportamiento de las variables.

La inclusión de factores externos como el régimen de precipitación y temperatura en la determinación del índice de calidad permitirán establecer medidas de prevención que adviertan sobre el riesgo y que permitan definir criterios adicionales con mayor cobertura teniendo en cuenta el estado de las fuentes abastecedoras, principalmente, cuando se presenten fenómenos anormales como inundaciones, deslizamientos, sequías e incendios forestales.

Los mapas de ubicación de puntos de muestreo con su respectivo nivel de riesgo y distribución mensual de los valores del IRCA representan un análisis puntual y con mayor detalle que propone una comparación objetiva de los resultados del mismo. En efecto, permiten evaluar el comportamiento y la evolución del IRCA en un periodo determinado utilizando elementos en común en todos los años, como lo son los lugares y puntos de muestreo, contribuyendo así a la estructuración de planes y

acciones departamentales y municipales que garanticen la mejora continua frente a la calidad del agua para consumo humano.

Los informes nacionales de calidad de agua para consumo humano se basan en la información consolidada y reportada por el Instituto Nacional de Salud - INS en la base de datos del Sivicap. De acuerdo con esto y en referencia a la situación evidenciada frente a las inconsistencias en la información reportada, se concluye que los informes nacionales presentan su análisis basados en información sesgada, que no representa la realidad del IRCA en el departamento; de igual forma, exponen de manera general un histórico del consolidado del IRCA en cada año para un periodo determinado, clasificando a todo el departamento en un nivel de riesgo, cuya validez no se evalúa de forma detallada. Como consecuencia de esto, los programas y subprogramas contemplados en los Planes de Desarrollo Departamental con respecto a la calidad del agua, se estructuran y desarrollan con base en información inconsistente, lo que genera que no se proporcionen los recursos económicos adecuados al departamento para realizar una gestión eficaz que optimice la calidad del agua para consumo humano.

Se recomienda la revisión detallada de factores internos que intervienen en el cálculo del IRCA y la buena operación de la red. Por ejemplo: la selección de los puntos de muestreo, la georreferenciación de estos puntos, frecuencia y métodos de muestreo, cadena de custodia, parámetros analizados e inclusive la capacitación de quienes tienen como función la toma y manejo de las muestras.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Salud y Protección Social, Informe Nacional Calidad de Agua para Consumo Humano, Julio de 2007 – Diciembre de 2011. Bogotá: Publicaciones Instituto Nacional de Salud, 2013.
- [2] Ministerio de la Protección Social. Decreto 1575 de 2007. Bogotá, 2007.
- [3] Conpes, Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá: Publicaciones Conpes, 2014.
- [4] Ministerio de la Protección Social, Resolución 2115 de 2007. Bogotá, 2007.
- [5] Gobernación del Tolima, Plan de Desarrollo Unidos por la Grandeza del Tolima 2012 - 2015. Tolima, 2013.
- [6] Prasad, T.D; Danso-Amoako, E, 2014. Influence of Chemical and Biological Parameters on Iron and Manganese Accumulation in Water Distribution Networks. Procedia Engineering. ISSN 18777058
- [7] Cruz Roja Colombiana - Ideam, Análisis del Cambio Climático en el país y acciones de la Cruz Roja Colombiana para reducir el riesgo. Bogotá: Publicaciones Ideam, 2009.
- [8] Ideam, Estudio Nacional del Agua. Bogotá: Publicaciones Ideam, 2008.
- [9] IGAC, Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Tolima. Bogotá: Publicaciones IGAC, 2004.
- [10] Universidad del Tolima, Diagnóstico General de Tolima. Ibagué: Publicaciones Universidad de Tolima, 2005.
- [11] Ideam, Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá: Publicaciones Ideam, 2005.
- [12] FAO. Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación. Publicaciones FAO. Santiago de Chile. 1993.

RECORRIDO VIRTUAL EN TERCERA DIMENSIÓN DE LA SEDE PRINCIPAL EN UNA UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ

VIRTUAL TOUR IN THIRD DIMENSION OF THE MAIN HEADQUARTERS AT A UNIVERSITY OF BOGOTÁ



¹Yuri Vanessa Nieto Acevedo, ²José Fernando López Quintero, ³Claudio Camilo González Clavijo

^{1,2}*Corporación Unificada Nacional (CUN), Bogotá, Colombia*

³*Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bogotá, Colombia.*

¹yuri_nieto@cun.edu.co.

²jose_lopezq@cun.edu.co.

³claudio.gonzalez@unad.edu.co.

Recibido: 21 /07/2015 • Aprobado: 15/09/2015

RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo el diseño de una herramienta en tercera dimensión, que permita a estudiantes y funcionarios de una Universidad ubicada en Bogotá, realizar el recorrido virtual de las instalaciones de su sede principal, a través de la Web. Para este recorrido virtual, diseñado especialmente para los nuevos estudiantes de la Universidad, se utilizó principalmente software de modelado 3D, Autodesk Maya y Unity, con el fin de adaptarlo a un motor gráfico, que pueda ser manejado por el usuario.

Palabras clave: autodesk maya, modelamiento 3D, recorrido virtual, tercera dimensión 3D, unity 3D.

ABSTRACT

This document aims to design a tool in third dimension, which allows students and staff of a University located in Bogota, to carry out the virtual tour of the main headquarters facilities, through the Web. For this virtual tour, designed especially for the new students of the University, 3D modeling software, Autodesk Maya and Unity, was mainly used, in order to adapt it to a graphic engine, which can be handled by the user.

Keywords: autodesk maya, third dimension 3D, unity 3D, virtual tour, 3D modeling.



I. INTRODUCCIÓN

En la Fig. 1 y Tabla 1 se puede observar, respectivamente, el porcentaje de la población estudiantil del programa de Ingeniería de Sistemas que ingresa cada semestre a la Universidad seleccionada y el número de estudiantes de la regional de Bogotá.

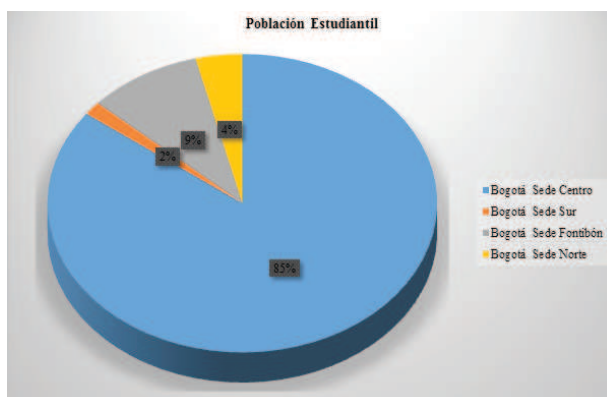


Fig. 1 Población estudiantil del Programa de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad escogida en Bogotá.

TABLA I
NÚMERO DE ESTUDIANTES DE LA REGIONAL DE BOGOTÁ
DE LA UNIVERSIDAD SELECCIONADA.

Regional	Sede	Número de estudiantes
Bogotá	Centro	1472
	Sur	25
	Fontibón	163
	Norte	67

Teniendo en cuenta, entonces, que aproximadamente 1.727 estudiantes ingresan a la sede principal de la Universidad seleccionada, y la importancia de que estos conozcan sus instalaciones para facilitar su recorrido, especialmente aquellos que ingresan por primera vez, se pensó en la necesidad de crear una herramienta virtual que les permita realizar un recorrido interactivo en tercera dimensión (3D), en el que puedan visualizar cada una de las dependencias de la Universidad; es decir, una herramienta de orientación y ubicación, la cual puede ser utilizada en las inducciones de los nuevos estudiantes [1].

Esta herramienta fue modelada con elementos reales para que se lograra veracidad en los entornos del recorrido. Los programas que se usaron para su desarrollo fueron estratégicos; se accedió al software más utilizado para modelar y animar en tercera dimensión en entornos gráficos con lo cual se logra obtener un impacto muy realista.

Vale aclarar, que este artículo inicia con un breve resumen en el que se da a conocer el objeto principal del proyecto, las herramientas que fueron usadas para su desarrollo y su finalidad, seguido de las palabras clave que lo definen y su funcionalidad. Luego, se encuentra la introducción, en la que se da a conocer la problemática que conllevó al desarrollo de este recorrido virtual, así como la justificación que fundamenta el objetivo del proyecto con estadísticas reales sobre la población estudiantil, que se supone será beneficiada con el mismo.

En la Sección II se presenta el Contexto, el cual se centra en la importancia de los recorridos virtuales y las aplicaciones interactivas, y se dan a conocer las definiciones de las herramientas que fueron usadas, tales como, *Autodesk Maya*, *Adobe photoshop CS6* y *Unity 3D*.

En la Sección III se encuentran los antecedentes relacionados con la aplicación de recorridos virtuales y/o escenarios en tercera dimensión en Universidades como la del Bosque, la Nacional y los Andes.

La Sección IV da a conocer la metodología del desarrollo del proyecto, explicando cada una de sus etapas, el modelo que se usó y una breve definición del mismo. Igualmente, presenta información de la Universidad y del ambiente en el que fue desarrollado el recorrido.

Se finaliza el documento con las conclusiones y las referencias bibliográficas.

II. CONTEXTO

A. Recorrido virtual

Las visitas virtuales son una forma fácil, divertida e interactiva de ver un espacio, por medio de las fotografías panorámicas esféricas, que permiten observar el espacio fotografiado en 360° x 180°.

Es así, como estas visitas pueden llegar a convertirse en las secciones más visitadas de cualquier página web, debido al gran atractivo visual y su alto nivel de interactividad. Su objetivo es aumentar notablemente la permanencia del usuario en la página y, en consecuencia, su atracción e interés por el lugar fotografiado.

En una visita virtual, el usuario, desde cualquier computador con acceso a internet, percibe el espacio esférico totalmente verosímil y natural, tal como es en la realidad; es decir, con la sensación de encontrarse en dicho lugar.

Esta, es una forma de publicidad altamente efectiva y atractiva para los usuarios. El uso de esta tecnología interactiva puede aumentar notablemente el número de visitas a una página, aunque el tiempo de carga de las mismas, puede repercutir negativamente en estas.

El recorrido virtual o tour virtual es la solución ideal para mostrar a los clientes de una forma fácil e interactiva todos los inmuebles o instalaciones de una sede. Por sus características naturales, puede ajustarse perfectamente a cualquier sector mercantil del país, entre otros, el inmobiliario, turístico y hotelero. . Es muy sencillo de usar, y se adapta a todos los estándares tecnológicos [2] .

B. Aplicaciones interactivas

Desde que la tecnología empezó a avanzar a pasos agigantados y las aplicaciones interactivas comenzaron a convertirse en herramientas fundamentales de muchas presentaciones educativas y empresariales, se puede afirmar que hoy por hoy son las más utilizadas para estos trabajos. Una de

las ventajas que ofrecen, es la interacción entre el contenido y el usuario, lo que genera que este último quede satisfecho en cuanto a expectativas, y sea mucho más fácil la comprensión de lo que se le quiere comunicar.

Adicionalmente, se hará una breve referencia a las aplicaciones interactivas utilizadas en la educación, teniendo en cuenta la importancia de las mismas en este sector. El hecho de que los estudiantes tengan la oportunidad de acceder a este tipo de aplicaciones, los ayuda mucho con su estudio, sin importar el nivel, ya que, generalmente, tanto las escuelas primarias como las universidades están implementando todo tipo de aplicaciones interactivas, como una mejor forma de garantizar que el aprendizaje no solo sea un poco más entretenido sino también mucho más fácil. En este sentido, estas son herramientas muy apropiadas para los niños, teniendo en cuenta que ellos son a quienes más les cuesta interiorizar los contenidos que las escuelas proponen [3].

C. Autodesk Maya

Maya es un software de animación en 3D que proporciona un conjunto completo de funciones creativas para realizar animaciones, modelados, simulaciones y renderizaciones en 3D por ordenador en una plataforma de producción sumamente amplia. Maya proporciona conjuntos de herramientas de personajes y efectos de gran calidad, así como un aumento de la productividad del modelado, la texturización y las tareas de creación de sombras [4] *Autodesk Maya* (también conocido como Maya) es, entonces, un programa informático dedicado al desarrollo de gráficos en 3D, efectos especiales y animación.

Este programa surgió a partir de la evolución de *Power Animator* y de la fusión de *Alias* y *Wavefront*, dos empresas canadienses dedicadas a crear gráficos generados por ordenador. Más tarde, *Silicon Graphics* (ahora SGI), el gigante informático, acogió a la empresa *Alias-Wavefront*, y todo paso a ser parte de Autodesk.

Maya se caracteriza por su potencia y las posibilidades de expansión y personalización de su interfaz y de las herramientas. MEL (*Maya Embedded Language*) es el código que forma el núcleo de Maya, gracias al cual se pueden crear *scripts* y personalizar el paquete.

El programa posee diversas herramientas para modelado, animación, render, simulación de ropa y cabello, dinámicas (simulación de fluidos), etc. Además, Maya es el único software de 3D acreditado con un Oscar debido al enorme impacto que ha tenido en la industria cinematográfica como herramienta de efectos visuales, con un uso muy extendido por su gran capacidad de ampliación y personalización.

Maya trabaja con cualquier tipo de superficie: NURBS, *Polygons* y *Subdivision Surfaces*; en estas superficies se puede convertir cualquiera de las formas básicas geométricas.

- **Nurbs:** son figuras creadas a base de curvas y superficies cuyos componentes son básicamente los CV's (*control vertex*), las isoparms (isoparamétricas) y los *hulls* (*loops* enteros de isoparms).
- **Polygons:** son los objetos más fáciles de modelar por su falta de complejidad y su mayor número de herramientas. Sus componentes básicos son: *faces* (caras), *edges* (aristas) y *vertex* (vértices).
- **Subdivisiones:** son un híbrido entre las *Nurbs* y los *Polygons*. Sin embargo, no se pueden modelar usando ambos estilos a la vez; para ello, hay que escoger en qué modo se desea modelar (*Standard Mode* o *Polygon Mode*). Poseen los mismos componentes que las *Nurbs* y los *Polygons*, además de un modo de refinamiento por niveles para obtener mayor subdivisión geométrica y conseguir así mayor detalle de modelado [5].

D. Unity 3D

Unity es un ecosistema de desarrollo de juegos: un poderoso motor de renderizado totalmente integrado con un conjunto completo de herramientas intuitivas y flujos de trabajo rápido para crear contenido 3D interactivo; publicación multiplataforma sencilla; miles de activos de calidad, listos para usar en la tienda de activos y una comunidad donde se intercambian conocimientos.

Para desarrolladores independientes y estudios, el ecosistema democratizador de *Unity* hace añicos las barreras de tiempo y costos para crear juegos singularmente bellos. Ellos utilizan *Unity* para ganarse la vida haciendo lo que les encanta: crear juegos que enganchan y deleitan a los jugadores en cualquier plataforma [6].

E. Adobe Photoshop CS6

Photoshop CS6 es una potente herramienta de imagen que mejora las fotos gracias a su gran motor. Esta versión tiene nuevas características que permiten desarrollar fotografías con una nueva calidad; es una nueva herramienta de trabajo que convierte lo antiguo en novedoso. Aquellos que conocen las antiguas versiones de esta herramienta de imagen notarán que la interfaz es bastante similar [7].

F. Visita virtual

Según [8] las visitas virtuales se podrían clasificar en tres tipos. El primero, más sencillo y asequible, estaría constituido por un conjunto de páginas Web dispuestas de forma lógica y con el objetivo de proveer una visita guiada a las instalaciones del museo.

El segundo tipo utilizaría ambientes en 3D navegables, por ejemplo, tecnología *Quicktime VR*, que proporciona una sensación mínima de presencia pero que resulta en una experiencia solitaria para el visitante.

Por último, una visita virtual en un ambiente de simulación 3D ofrece una ampliación del real, permitiendo al visitante un mayor grado de libertad para que interactúe con modelos y objetos, tocando

libremente, y con la posibilidad de interacción con otros visitantes virtuales. El grado máximo de visita virtual está dado en cuanto este tipo de ambiente permite la interacción en tiempo real entre los visitantes virtuales [9].

G. Modelamiento 3D

La aplicación del modelado 3D para la difusión de puntos y elementos de interés turístico es un tema que está a la orden del día tanto de forma directa (aplicaciones dedicadas y diseñadas para el turista) como indirecta (usando aplicaciones generales en las que los turistas encuentran utilidad). Por otro lado, la generación de modelos 3D y el uso de los mismos en aplicaciones de realidad aumentada proporcionan una nueva perspectiva y posibilidades de interacción que aumentan la experiencia del turista en los destinos [10].

H. Texturización

El texturizado consiste de cavidades con cierto diámetro, profundidad, separación y distribución hechas en una superficie mediante diferentes procedimientos. El texturizado de superficies modifica el régimen de lubricación, lográndose, en la mayoría de los casos, una disminución del coeficiente de tracción [11].

I. Sitio Web

Es un conjunto de archivos electrónicos y páginas web referentes a un tema en particular, que incluye

una página inicial de bienvenida, generalmente denominada *home page*, con un nombre de dominio y dirección en internet específicos. Los sitios web pueden ser de diferentes géneros, destacando los de negocios, servicio, comercio electrónico en línea, imagen corporativa, entretenimiento e informáticos [12].

J. Desarrollo Web

El desarrollo web demanda cada vez más interactividad y capacidad de personalización de los sitios; las limitaciones que imponen enfoques como el de HTML pueden ser superadas empleando tecnologías como PHP y MySQL. PHP es un lenguaje de secuencia de comandos de servidor diseñado específicamente para la Web, mientras que MySQL constituye el mejor sistema para la administración de bases de datos relacionales de modo rápido y sólido [13].

III. ANTECEDENTES

A. Recorrido virtual del mapa de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

En la Fig. 2 se puede observar un mapa de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, el cual permite hacer un recorrido virtual libre o predeterminado sobre él [14]. Así mismo, permite recorrer una parte de la Universidad, y ayuda a los nuevos estudiantes y funcionarios del plantel a ubicarse mucho mejor en su primera visita presencial.

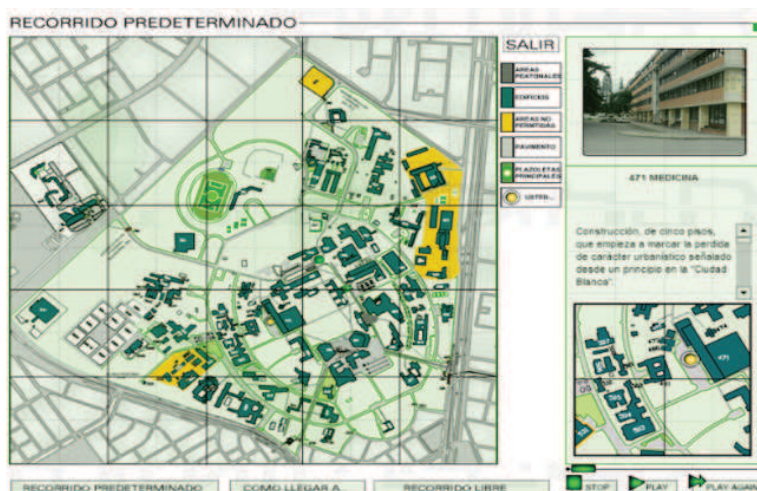


Fig. 2 Recorrido virtual del mapa de la Universidad Nacional de Colombia.

La aplicación contiene, además, un mapa con radar que indica en qué punto de la Universidad se encuentran.

En la Fig. 3 se puede observar el porcentaje de utilidad por Facultades del recorrido virtual.

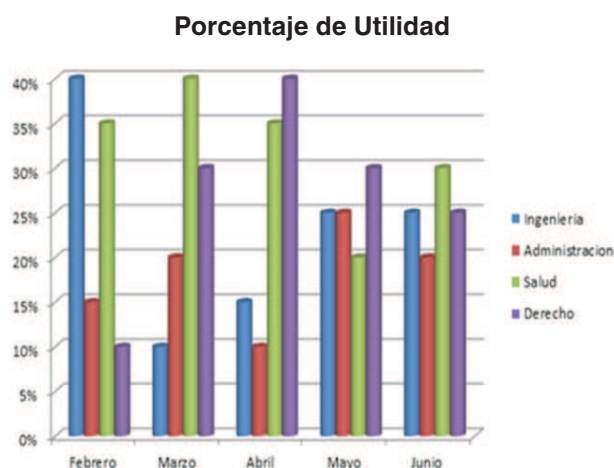


Fig. 3 Porcentaje de utilidad por Facultades del recorrido virtual del mapa de la Universidad Nacional de Colombia.

B. Recorrido virtual en 360° del Museo del Oro en Bogotá.

En la fig. 4 se presenta el recorrido virtual del Museo del Oro. En este recorrido se puede visualizar, por medio de fotografías en 360°, las instalaciones exteriores e interiores del Museo [15].



Fig. 4 Recorrido virtual en 360° del Museo de Oro.

El recorrido virtual del Museo del Oro va dirigido a todo público que lo quiera conocer un poco antes

de decidir visitarlo; se diseñó con solo fotos de alta resolución, para brindar la mejor experiencia al visualizarlo mediante vía web.

En la fig. 5 se presenta el nivel de satisfacción de los usuarios.

Nivel de Satisfacción del Usuario

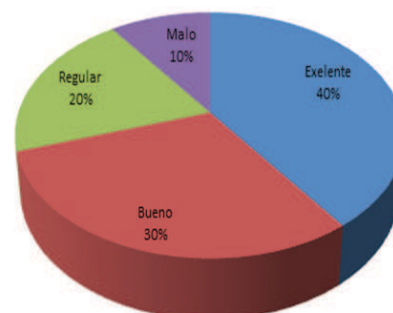


Fig. 5 Nivel de satisfacción del usuario al utilizar el recorrido virtual en 360° del Museo De Oro.

C. Recorrido virtual en 360° de la Universidad del Bosque

En la Fig. 6 se puede observar el recorrido virtual mediante fotos animadas y vistas con 360° de las instalaciones de la Universidad del Bosque [16].

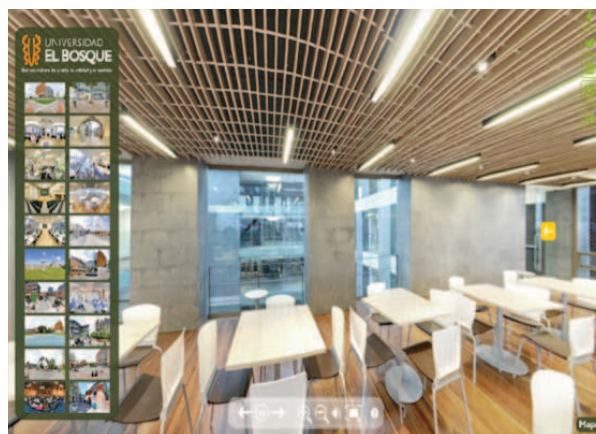


Fig. 6 Recorrido virtual en 360° de la Universidad el Bosque.

La Universidad del Bosque implementa esta aplicación web para obtener una mejor ubicación dentro de la misma. En esta aplicación se muestra también el exterior de la Universidad utilizando fotos de alta resolución.

En la Fig. 7 se puede apreciar el concepto de los estudiantes de la Universidad en relación con este recorrido virtual.

Utilidad de la aplicación según estudiantes de primer semestre

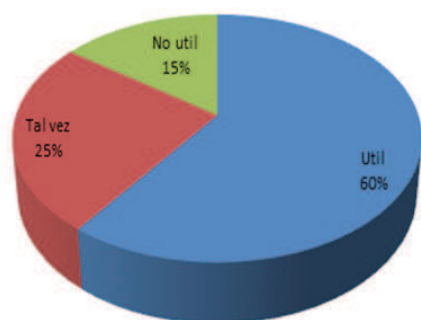


Fig. 7 Utilidad del recorrido virtual de 360° de la Universidad Del Bosque según estudiantes de primer semestre.

D. Recorrido virtual de la Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.



Fig. 8 Recorrido virtual de la Universidad de los Andes Colombia.

En el recorrido virtual de la Universidad de los Andes se pueden observar sus Facultades modeladas (ver Fig. 8) [17].

También muestra información detallada de cada punto de atención de las Facultades, lo cual resulta útil para los nuevos estudiantes.

En la Fig. 9 se puede apreciar el porcentaje de uso de esta aplicación en tres áreas diferentes: información de la Facultad; ubicación y conocimiento de carreras.

Uso de la aplicación

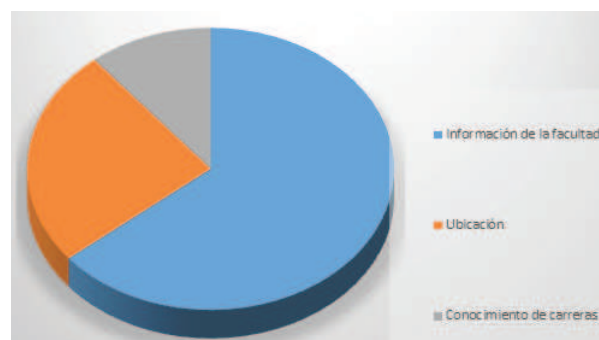


Fig. 9 Uso del recorrido virtual de la Universidad de los Andes Colombia en diferentes áreas

Finalmente, en la Tabla 2 se presenta un resumen por número de visita y calificación de las aplicaciones nombradas anteriormente.

TABLA II.

RESUMEN POR NÚMERO DE VISITAS Y CALIFICACIÓN DE LAS APLICACIONES VISTAS.

APP	S.O		N. VISITAS	CALIFICACIÓN
	Móvil	Desktop		
Recorrido virtual del mapa de la universidad nacional de colombia, sede bogotá		X	3'400.000	4,7
Recorrido virtual de 360° del museo del oro de bogotá,		X	2'140.300	4,0
Recorrido virtual de la universidad del bosque,		X	2'100.550	4,4
Recorrido virtual universidad de los andes, bogotá, colombia.		X	2'450.700	4,2

De esta manera, se puede concluir que un recorrido virtual resulta útil en cualquier plantel, pues ayuda a los nuevos visitantes a reconocer el lugar antes de visitarlo por primera vez, tanto para ubicarse como para conocer las diferentes dependencias del mismo y orientarse en ellas.

IV. METODOLOGIA DE DESARROLLO

Para el desarrollo de este proyecto, se seleccionó el modelo **Cascada**, por ser el más básico de todos los modelos y haber servido como bloque de construcción para los demás paradigmas de ciclo de vida. El modelo está basado en el ciclo convencional de una ingeniería y su visión es muy simple: el desarrollo de software se debe realizar siguiendo una secuencia de fases.

Por tanto, el arquetipo del ciclo de vida abarca las siguientes actividades:

- **Ingeniería y análisis del sistema:** debido a que el software es siempre parte de un sistema mayor, el trabajo comienza estableciendo los requisitos de todos los elementos del sistema y luego asignando algún subconjunto de estos requisitos al software.
- **Análisis de los requisitos del software:** el proceso de recopilación de los requisitos se centra e intensifica especialmente en el software. El Ingeniero de Software debe comprender el ámbito de la información del software, así como la función, el rendimiento y las interfaces requeridas.
- **Diseño:** el diseño del software se enfoca en cuatro atributos distintos del programa: la estructura de los datos, la arquitectura del software, el detalle procedimental y la caracterización de la interfaz. El proceso de diseño traduce los requisitos

en una representación del software con la calidad requerida antes de que comience la codificación.

- **Codificación:** el diseño debe traducirse en una forma legible para la máquina. Si el diseño se realiza de una manera detallada, la codificación puede realizarse mecánicamente.
- **Prueba:** una vez que se ha generado el código, comienza la prueba del programa. La prueba se centra en la lógica interna del software y en las funciones externas, realizando pruebas que aseguren que la entrada definida produce los resultados que realmente se requieren.
- **Mantenimiento:** el software sufrirá cambios después de que se entrega al cliente. Los cambios ocurrirán si se encuentran errores, si el software debe adaptarse a cambios del entorno externo (sistema operativo o dispositivos periféricos) o si el cliente requiere ampliaciones funcionales o del rendimiento [18]

Se escogió este método porque se adecua al proceso de desarrollo del proyecto, en lo que tiene que ver tanto con los estudios preliminares que se han de ejecutar, como con las pruebas que se deben realizar una vez terminado.

En la Fig. 10 se puede observar el diagrama de flujo de este proceso.

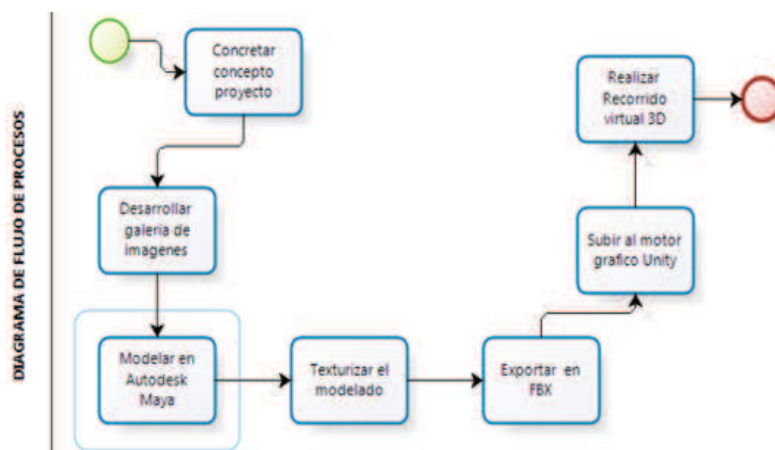


Fig. 10 Diagrama de flujos de proceso.

A. Concretar concepto del proyecto

La idea de este proyecto surge por el alto porcentaje de estudiantes nuevos que ingresan semestralmente a la Universidad seleccionada y la necesidad de orientarlos y ubicarlos antes de que entren por primera vez a las instalaciones de la sede principal.

B. Desarrollar galería de imágenes

Para obtener un resultado lo más óptimo posible en el modelamiento 3D de cada uno de los elementos que componen la infraestructura de la sede principal, se recolectaron las fotografías necesarias de las instalaciones de la sede A, para su posterior análisis, con el ánimo de lograr un acertado modelamiento a escala de cada sección que la conforman.

C. Modelar en AutoDesk maya

Después de la recolección y análisis de las imágenes obtenidas se procede a realizar el modelamiento en 3D, en el software *Autodesk Maya*, el cual proporciona un gran conjunto de funciones para realizar una adecuada tarea, facilitando el modelamiento lo más detallado posible y dar, así, la sensación de realidad.

D. Texturizar el modelado

Observando las fotografías obtenidas de la sede principal, se detallan las texturas de cada uno de los elementos que componen la infraestructura, tales como, los tipos de diseño del suelo, el techo, paredes, asientos, escritorio, etc. Después de analizar estas texturas, se imitan con el software, aplicándolas al entorno del modelado según corresponda; así mismo, se aplican las correctas dimensiones de cada objeto, con el fin de lograr una adecuada proporción de cada uno en el modelado.

E. Exportar a formato FBX

Una vez finalizado el modelado 3D en el software *Autodesk Maya*, se procede a guardarlo con uno de los variados formatos que este software nos proporciona; en este caso, se guardó como .FBX, por ser este, el formato soportado por el próximo software que se ha de utilizar: *Unity*.

F. Subir al motor gráfico: Unity

Teniendo el modelado sin animación proporcionado por *Autodesk Maya*, con el motor gráfico *Unity* se importa para darle movimiento; se importan todas las texturas utilizadas en *Autodesk Maya*, así como las vistas y cámara para realizar el recorrido [20].

G. Realizar el recorrido virtual 3D

Una vez el recorrido virtual está preparado, se sube a un servidor para que pueda ser accesible desde cualquier computador con acceso a internet, solicitando datos básicos para poder ingresar al mismo.

V. RECORRIDO VIRTUAL

Se realiza el recorrido virtual en tercera dimensión (3D), de la sede principal, regional centro de Bogotá de la Universidad seleccionada para el proyecto, con el objetivo de orientar y ubicar a los nuevos estudiantes que ingresan cada semestre y que hacen uso de las instalaciones de la sede.

La herramienta se desarrolló con elementos reales para que se lograra veracidad en los entornos del recorrido. Los programas que se usaron para tal fin, fueron estratégicos y los más utilizados para modelar y animar en tercera dimensión en entornos gráficos, con lo cual se logró obtener un impacto muy realista.

A. Universidad escogida

La Universidad escogida es de carácter privado, constituida como persona jurídica de utilidad común, sin ánimo de lucro, con una trayectoria de más de treinta años en el mundo de la educación superior en Colombia, durante los cuales ha consolidado un Proyecto Educativo en el que está transformando permanentemente el aprendizaje de sus estudiantes con innovación tecnológica para hacer de esta una formación integral de líderes con visión empresarial global.

Como fruto de la constante perseverancia, trabajo mancomunado y focalizado de la institución, se ha consolidado un crecimiento, posicionamiento y reconocimiento nacional, que hoy hace parte de la base sobre la cual se continuará proyectando el aporte estratégico a la sociedad, en la transformación de personas y la creación de nuevas historias de vida, a través de sus tres escuelas: Ciencias Administrativas, Ingenierías y Comunicaciones, en las metodologías de estudio presencial y a distancia [19].

B. Regional Bogotá, sedes centro. Direcciones.

En la Tabla 3 se dan a conocer las direcciones de las diferentes sedes de la Universidad seleccionada y en la Fig. 11, su correspondiente mapa.

TABLA III
UBICACIÓN DE LAS SEDES EN REGIONAL BOGOTÁ.

Sedes Centro	
SEDE O	AV JIMENEZ N° 8-29
SEDE E	CRA 5 N° 10-35
SEDE B	CLL 12 N° 4 - 92
SEDE C	CLL 12B N°3 - 73
SEDE F – H – P	CLL 12 C N° 3-99
SEDE G	CLL 17 N° 4-95
SEDE I	CLL 17 N° 4-81
SEDE J	CLL 12 C N° 8-27
SEDE L	CLL 12 B N°6-71
SEDE N	CRA 8 N° 12A-13



Fig. 11 Mapa de sedes en Regional Centro Bogotá.

C. Aplicación

En las figuras 12, 13, 14, 15 y 16 se presentan algunos pantallazos de la aplicación del recorrido virtual.



Fig. 12 Pantallazos de aplicación, recorrido virtual Sede principal.



Fig. 13 Pantallazos de aplicación, fachada de la Sede principal, Bogotá.



Fig. 14 Pantallazos de aplicación, Centro de Atención CIGE, Bogotá.



Fig. 15 Pantallazos de aplicación, Biblioteca, Sede principal Bogotá.

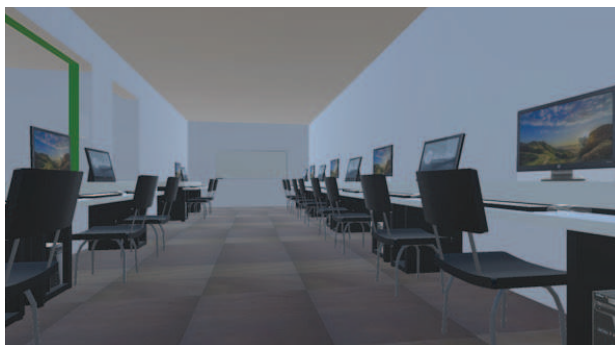


Fig. 16 Pantallazos de aplicación, Sala 201, Sede A Bogotá.

IV. CONCLUSIONES

El proyecto que se realizó ha contribuido de una manera significativa para que los estudiantes nuevos de la Universidad seleccionada conozcan, previo a una primera visita, las instalaciones que conforman su sede principal, lo que confirma que se cumplió con los objetivos propuestos [21].

El recorrido virtual 3D de la sede principal de la Universidad facilita a los estudiantes y funcionarios ubicarse y orientarse mejor en sus diferentes dependencias.

Finalmente, gracias al desarrollo de este proyecto, los autores nos acercamos al conocimiento de programas desconocidos, logrando manejarlos óptimamente y así concluir exitosamente el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Programa Ingeniería de Sistemas, 1 10 2015. [En línea].
- [2] I. Montoya, «Tours 360,» 30 10 2012. [En línea]. Available: <http://tourvirtual.com.mx/que-es-un-recorrido-virtual/>.
- [3] Suelos Interactivos, «Suelos Interactivos,» [En línea]. Available: <http://www.suelosinteractivos.com/recursos-interactivos/aplicacionesinteractivas.html>.
- [4] Autodesk Sotdware [En línea]. Available: <http://www.autodesk.com/gallery/overview>
- [5] G. L. Lledó, «Educación y nuevas tecnologías,» 23 03 2010. [En línea]. Available: <http://blogs.ua.es/gonzalo/tag/autodesk-maya/>.
- [6] Unity 3D, «Unity,» [En línea]. Available: <https://unity3d.com/es/unity>.
- [7] S. Arroyo, «PHP NUKE,» 22 09 2015. [En línea]. Available: https://2ae7-descargar.phpnuke.org/es/c156215/adobe-photoshop-cs6#.VE8ve_mG8VY.
- [8] T. Barbieri, P. Paolini. Cooperative Visits for Museum WWW Sites a Year Later: Evaluating the Effect. Politécnico de Milán, 2000.
- [9] M. Sabbatini, Centros de ciencia y museos científicos virtuales: teoría y práctica., Salamanca: Universidad de salamanca, 2003.
- [10] J. L. Caro, Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística, Málaga: Universidad de malaga, 2012.
- [11] L. A. M. Santiyanes, «INTERACCIÓN ENTRE VISCOSIDAD Y DIMENSIONES DE PATRONES DE,» *SOMIM*, vol. 1, n° 1, p. 6, 2010.
- [12] S. J. A, Analisis y Diseño de sistemas de informacion, Mexico: Mc Graw-Hill, 1989.
- [13] L. T. Luke Welling, DESARROLLO WEB CON PHP Y MYSQL, España: ANAYA MULTIMEDIA, 2005.
- [14] Universidad Nacional De Colombia, «Universidad Nacional De Colombia,» [En línea]. Available: http://www.rekursosfisicos.unal.edu.co/MapaUN_SWF/MapaUNSWF.html.
- [15] Museo de oro, «Museo de oro,» [En línea]. Available: http://www.banrepcultural.org/museo-del-oro2/MO360/p1a/_flash/archivo_p1.html.
- [16] Universidad El Bosque, «Universidad El Bosque,» [En línea]. Available: http://www.uelbosque.edu.co/recorrido_virtual.
- [17] Universidad de los Andes Colombia, «Universidad de los Andes Colombia,» [En línea]. Available: <https://posgrados.uniandes.edu.co/index.php?page=mapa>.
- [18] Libros Web [En línea] Available: <http://librosweb.es/>
- [19] CUN, «CUN,» [En línea]. Available: <http://www.cun.edu.co/quienes-somos.html>.
- [20] Á. Ulldemolins, Recorridos Virtuales, Espana: Cretive Commons, 2011.
- [21] F. S. Acosta Samboni, D. F. Hoyos Prieto y S. L. Lopez Zea, «Tesis de grado tecnología: Recorrido virtual 3D CUN,» Bogotá, 2015.

MODELOS DE ENSUCIAMIENTO EN INTERCAMBIADORES DE CALOR TUBULARES EN SISTEMAS INDIRECTOS EN PROCESOS UHT EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

MODELS OF FOULING IN TUBULAR HEAT EXCHANGERS IN INDIRECT SYSTEMS IN UHT MILK INDUSTRY PROCESSES



¹Luis Gómez Orozco, ²Ana Ilva Capera Urrego

¹Cooperativa Lechera de Córdoba CODELAC. Montería. Colombia.

²Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá. Colombia.

¹luisgomez@gmail.com

²ana.capera@unad.edu.co

Recibido: 02/09/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

La tecnología de ultra alta temperatura (UAT) se utiliza ampliamente en la industria de la leche para el tratamiento térmico, ofreciendo una alta eficiencia en cuanto a la destrucción de microorganismos esporulados. Sin embargo, dentro de este proceso se encontró que a temperaturas entre 75°C y 110°C, se llevan a cabo procesos de agregación y desnaturalización de proteínas y precipitación de sales minerales que forman una capa o costra de ensuciamiento en las paredes del tubo de calentamiento; el componente más importante en el fenómeno de ensuciamiento, es la proteína sérica llamada β -Lactoglobulina. En este trabajo se resumen los diferentes modelos matemáticos que explican el fenómeno de ensuciamiento a partir de la transferencia de masa. La velocidad de ensuciamiento es el resultado de la diferencia entre la velocidad de acumulación de depósitos y la velocidad con que se remueven. Se encontró que los modelos de Kern-Seaton y Fryer-Slater son los más ampliamente usados, pues son modelos de velocidad de ensuciamiento en función de la energía de activación y la temperatura de película interfacial entre la capa de ensuciamiento y la leche. Otros modelos identificados nacen en la industria petroquímica, pero son adaptados en el estudio de la desnaturalización de la proteína de la leche, como los de Ebert-Panchal y Paterson-Fryer.

Palabras clave: β -Lactoglobulina, ensuciamiento, intercambiadores de calor de doble y triple tubo, modelos asintóticos, número de Biot, ultra alta temperatura (UAT).

ABSTRACT

Ultra-High Temperature (UHT) Technology, is widely used in the dairy industry for heat treatment, offering high efficiency in terms of destruction of sporulated microorganisms. However, in this process it was found that at temperatures between 75° C and 110° C, are conducted protein aggregation and denaturation, and

precipitation of mineral salts that form a layer or crust of fouling on the walls of heating tube; the most important component of fouling is serum protein called β -Lactoglobulin. In this work, different mathematical models that explain the phenomenon of fouling based on the concept of mass transfer are summarized. The rate of fouling is the result of the difference in the rate of accumulation of deposits and the speed with which are removed. It was found that Kern-Seaton and Fryer-Slater's models are the most widely used, as fouling rate models depending on the activation energy and the interfacial film between temperature fouling layer and milk. Other models found were born in the petrochemical industry, but they were adapted to the study of protein denaturation of milk, like Ebert-Panchal and Paterson-Fryer models.

Key words: asymptotic models, Biot number, β -Lactoglobulin, double and triple tube heat exchangers, fouling, ultra-high temperature (UHT).



I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de leche UHT es un proceso térmico de destrucción de microorganismos de alta temperatura y cortos tiempos ($135^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C} \times 1$ a 10 seg) [1], a diferencia de los procesos de pasteurización, en los que se emplean temperaturas bajas y tiempos más amplios. ($72^{\circ}\text{C} - 76^{\circ}\text{C} \times 15$ seg) [2].

Durante el tratamiento de UHT, las paradas ocasionadas por ensuciamiento de tuberías de precalentamiento, de estabilización y de calentamiento, obligan a la industria procesadora de leche UHT a realizar lavados químicos y esterilización de superficies en contacto con alimentos, incurriendo en tiempos muertos de producción, altos costos por mayor frecuencia de lavados y desgaste de empaques y repuestos a causa de la mayor exposición de las zonas estériles a las altas temperaturas.

Los ingenieros de diseño de equipos de tratamiento térmico están obligados a encontrar la mejor configuración para evitar que se presenten paradas a causa del ensuciamiento de los intercambiadores de calor, trayendo consigo el detrimento e ineficiencia del proceso de producción. Estos han tratado de explicar los mecanismos de ensuciamiento de las zonas de calentamiento y han dado sus mejores aportes para entender el fenómeno y poder derivar de estos un modelo que se adapte a las condiciones de calentamiento.

Encontrar un modelo que explique el mecanismo de ensuciamiento de equipos UHT con aplicación en lácteos ha sido tarea desde hace más de 50 años. En la actualidad, con la ayuda de software de simulación se ha logrado optimizar el diseño de equipos de ultra alta temperatura buscando hacerlos más rentables.

Este trabajo de revisión bibliográfica buscó identificar los principales modelos matemáticos de ensuciamiento aplicados en intercambiadores de calor indirectos, utilizados en el tratamiento térmico de leche UHT, que expliquen el fenómeno de ensuciamiento y aporten información relevante para el mejoramiento del diseño de dichos equipos.

II. CONTENIDO

A. Sistemas de aplicación de calentamiento a Ultra Alta Temperatura (UHT)

En la industria de lácteos existen dos tipos de mecanismos para el tratamiento de calor: sistemas de calentamiento directo e indirecto. A continuación, se hace referencia a los sistemas indirectos, los cuales se utilizan normalmente para el procesamiento UHT de la leche.

En estos sistemas, el medio de calentamiento no entra en contacto directo con el producto. Comúnmente, el vapor calienta un circuito cerrado de agua utilizada para el calentamiento del producto. Este sistema elimina el riesgo de que el producto se contamine, si existiere alguna fuga en el tubo de calentamiento [3]. A estos sistemas pertenecen los intercambiadores de placas que se utilizan ampliamente en fluidos de baja viscosidad y los intercambiadores tubulares.

En sistemas indirectos, el flujo de leche y el flujo de calentamiento pueden estar en direcciones

opuestas para minimizar la diferencia de temperatura entre los dos, lo cual ayuda a reducir la cantidad de ensuciamiento en la superficie de transferencia de calor alargando los tiempos de operación y mejorando la calidad del producto; esta diferencia de temperatura podría ser no mayor a 3°C [3].

La Fig. 1, presenta el perfil de temperatura en un sistema indirecto, en el que el calentamiento inicial se da por calor en la sección de regeneración. Por lo general, se encuentra que existe un circuito cerrado de circulación de agua caliente como medio de calentamiento, como se muestra en la Fig. 2.

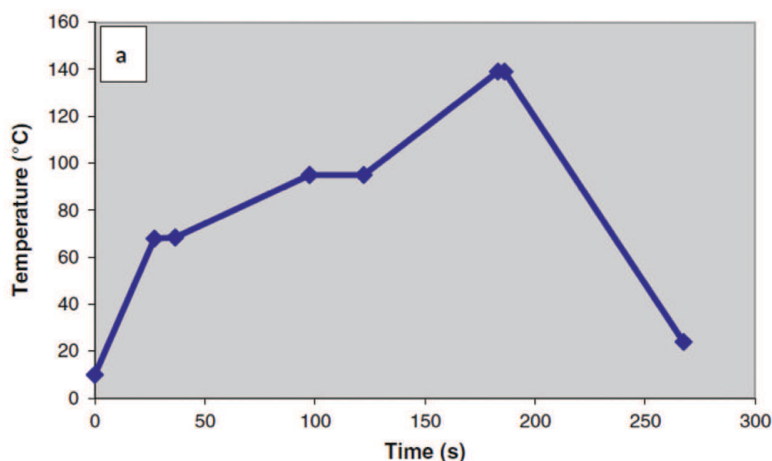


Fig. 1 Perfil de temperatura-tiempo en un sistema indirecto de UHT [1]

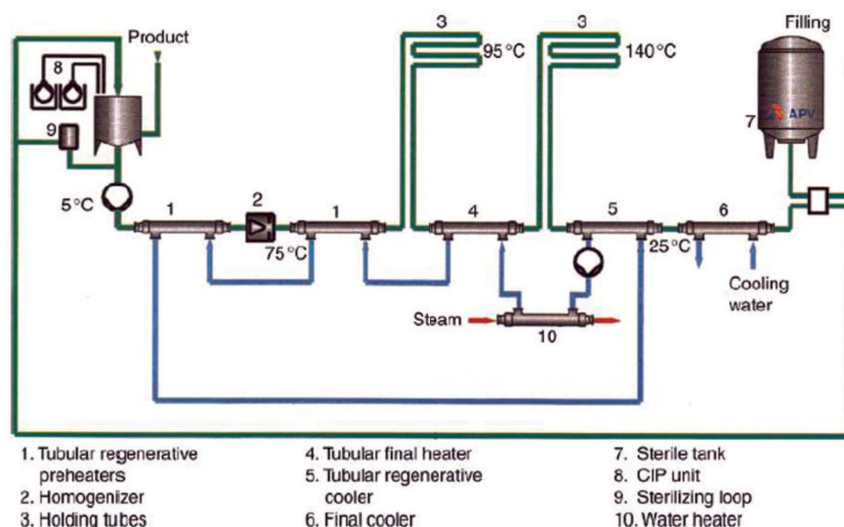


Fig. 2 Diagrama de flujo en un sistema indirecto de UHT [3]

B. Intercambiadores de calor de tubos

En la industria existen dos tipos principales de intercambiadores tubulares: unos son concéntricos y otros son de tubo con coraza.

1) Intercambiadores de tubos concéntricos:

construidos con tubos lisos o corrugados, consisten en tubos dobles, triples o más tubos concéntricos para entrada y salida de producto y medio de calentamiento. Este tipo de intercambiador de calor es útil cuando las velocidades de flujo son bajas. Por lo general, los sistemas de doble tubo se usan en la sección de regeneración. Los de triple tubo se utilizan, comúnmente, en la etapa final de calentamiento al alcanzar la temperatura de esterilización y en la sección final de enfriamiento, especialmente, donde las velocidades son restringidas para productos de alta viscosidad y donde se requiere mayor área de transferencia para compensar la reducción del coeficiente de transferencia de calor [4] [5].

2) Intercambiadores de tubo con coraza:

son los más comunes en la industria cuando se requieren flujos más elevados. En este tipo, varios tubos de diámetro pequeño se ensamblan al interior de un tubo de mayor diámetro [6]. Estos están interconectados a través de un manifold en cada extremo, llevando el producto en trayectorias paralelas. El medio de calentamiento o de enfriamiento pasa a flujo contracorriente en el espacio alrededor de ellos. Se emplean en su interior deflectores para forzar el producto a fluir, y evitar así, que sea en paralelo, aumentando de esta manera el coeficiente de transferencia [7].

C. Limitaciones del proceso de UHT

Una importante limitación de los equipos de calentamiento indirecto en la industria de la leche, es la formación de depósitos de proteína y minerales en las paredes de tuberías de intercambio de calor. Los grandes efectos negativos que produce el ensuciamiento o formación de depósitos son: detrimento del coeficiente de transferencia de calor, incremento de la caída de presión, incremento del consumo de energía, pérdidas de producto, incremento en los costos de limpieza e impacto negativo en el medio ambiente [8] [9].

1) Ensuciamiento (Fouling): el ensuciamiento, conocido como *Fouling* por su definición en inglés, consiste en una deposición de materiales no deseados en la superficie de transferencia de calor [10] [11] [12]. Para [13], el término *Fouling* hace referencia a la acumulación de suciedad, residuos, sedimentos en la superficie donde se lleva a cabo la transferencia de calor, reduciendo la eficiencia del proceso y dando lugar a problemas en planta y a altos costos de producción. Esta terminología se usa ampliamente para describir la acumulación y formación de sustancias no deseadas en una interface, que es causa de la disminución de la eficiencia [14].

A medida que se van depositando se va formando una capa que ofrece resistencia al paso del calor, disminuyendo la eficiencia térmica del intercambiador de calor [8]. Esta capa puede tener baja conductividad térmica y causa un considerable gradiente de temperatura. El ensuciamiento de tuberías reduce el diámetro de flujo incrementando la caída de presión, desfavorece la calidad del producto y puede incrementar el riesgo de una contaminación microbiana [15] [16] [12] [6].

La industria de procesamiento de leche siempre ha tenido preocupación por los problemas de ensuciamiento en intercambiadores de calor. Este es uno de los mayores problemas, sobre todo en los tratamientos a alta temperatura, ya que afecta los tiempos útiles de producción, debido a los largos tiempos de limpieza y esterilización. Estos tienen un efecto sobre los costos y un significativo efecto sobre el medio ambiente, debido al vertimiento de residuos químicos de limpieza [17] [8] [10]. Sin embargo, la industria ha mostrado un profundo interés por este tema, pues ofrece grandes aportes en el campo de la investigación aplicada [18] [19] [20] [21].

El conocimiento de modelos que expliquen el fenómeno de ensuciamiento es importante para el diseño y operación de equipos de intercambio de calor y ayudan a la selección de un intercambiador económicamente favorable [22].

2) Impacto generado por el ensuciamiento:

las paradas por ensuciamiento de equipos dan origen a gastos ocasionados por el consumo de químicos, horas de personal y tiempo de trabajos de otros equipos mientras se realizan las labores de limpieza. [13] afirma que cerca del 8% de los costos de mantenimiento se deben al ensuciamiento. Por lo tanto, la remoción del ensuciamiento por medios químicos y mecánicos representa un significativo gasto económico e impacto medio ambiental en la industria de alimentos [15]. El ensuciamiento es uno de los problemas más importantes en los equipos de transferencia de calor. Hay mucho interés en este estudio porque es la causa del impacto negativo en la economía de muchas industrias [14].

En algunos países como en Francia se reportan pérdidas que ascienden a millones de euros en tan solo un año y en Holanda se reportan gastos de hasta 40 millones de dólares para evitar este fenómeno. Estados Unidos reporta una pérdida por ensuciamiento en la industria láctea de 18.000 millones de Euros, seguido de Japón con 13.000 millones de Euros, Alemania con 6.500 millones de Euros y Reino Unido con 3.200 millones de Euros [20].

3) Factores que influyen en el ensuciamiento:

varios son los factores que influyen en la formación de depósitos o incrustaciones en las superficies de intercambio de calor. A continuación, se presentan los más importantes:

- **Contenido de calcio:** el calcio juega un papel en la formación de depósitos durante el tratamiento térmico de la leche, no solamente porque la solubilidad del fosfato de calcio decrece en el calentamiento, sino porque el calcio influye en la desnaturalización de las proteínas del suero y la precipitación de las micelas de caseína. El incremento de la actividad de los iones de calcio y el fosfato de calcio coloidal reduce las repulsiones electrostáticas entre las micelas de caseínas, con la consecuente baja estabilidad al calor. Esta inestabilidad de las micelas de caseína, con la desnaturalización de la β -Lactoglobulina (β -Lg),

podrían tener un gran incremento en el ensuciamiento [23] [10] [18].

- **pH:** la disminución del pH de la leche, causa un fuerte incremento del ensuciamiento, debido a la mayor deposición de proteínas del tipo caseínas. Influye en la estabilidad de la proteína al calor. La estabilidad de la leche decrece notablemente con la disminución del pH. La disminución del pH puede también causar un incremento en la concentración de iones de calcio, probablemente debido a la disolución del fosfato de calcio de la micela de caseína [24] [25].
- **Contenido de aire disuelto o presencia de burbujas de aire:** la solubilidad del aire disminuye con el calentamiento. Se ha sugerido que el aire en la leche, alienta al ensuciamiento solo si se forman burbujas en la superficie de calentamiento, que luego actúan como núcleos para la formación de depósitos. Además, la composición del depósito está influenciada por la evaporación de la capa límite de las burbujas de aire, que están asociadas principalmente con la caseína, lo que resulta en el ensuciamiento que tiene un contenido de caseína superior [23].
- **Precalentamiento de la leche:** el precalentamiento de la leche antes del tratamiento UHT genera menos ensuciamiento de las tuberías. Los depósitos de tipo proteico se reducen con ayuda del precalentamiento debido a la desnaturalización de las proteínas del suero, en especial de la β -Lactoglobulina [25].
- **Envejecimiento de la leche:** la leche envejecida causa más ensuciamiento en un intercambiador de calor, que la leche fresca. La acción de enzimas proteolíticas producidas por bacterias psicrótroficas, es responsable del aumento en la deposición. Por ejemplo, cuando la leche cruda se almacena a 5°C durante 6 días antes del procesamiento, el grado de ensuciamiento puede multiplicarse por cuatro [23] [10].

- **Influencia estacional:** el tiempo de productividad de una planta de UHT se puede determinar por el grado de deposición y este varía a lo largo del año. A temperaturas de calentamiento mayores de 120°C , la composición de la capa de depósito está influenciada por la temporada. Las razones de esto pueden incluir la dieta de las vacas. Es probable que esta variación estacional esté relacionada, no solo con variaciones en la composición de la leche cruda, sino también con su cambiante estabilidad al calor durante todo el año [23].

4) Fase de inducción: antes del ensuciamiento, en la superficie puede haber un período de inducción durante el cual solo se forma una capa muy delgada de depósitos. Esta capa tiene una resistencia insignificante a la transferencia de calor y, mediante la mejora de la rugosidad de la superficie, aumenta el coeficiente de transferencia de calor. En los tubos, la duración de la fase de inducción depende principalmente de condiciones de temperatura, de

velocidad y de superficie, y tiene una duración de 1 a 60 minutos. Se concluye, que esto se debe a su geometría, áreas de baja cizalla y baja turbulencia, donde la deposición se inicia inmediatamente y se acumula rápidamente, dando tiempos cortos de inducción [23] [26].

El ensuciamiento está clasificado en cuatro categorías [14], según lo presenta la Fig. 3. El primer intervalo " t_d " es el periodo en el que no ocurre ensuciamiento y obedece a la naturaleza del producto y al tipo de proceso. La curva lineal indica que la diferencia de velocidad de deposición y remoción es constante. La curva *falling* indica que la velocidad de deposición disminuye con el tiempo y no alcanza el estado estable. La curva asintótica, la más común, indica que la velocidad de deposición disminuye con el tiempo y alcanza el estado estable cuando la velocidad de deposición es igual a la velocidad de remoción. Esto se da porque la velocidad causa una fuerza de cizalla sobre la capa de ensuciamiento, removiendo algo de esta.

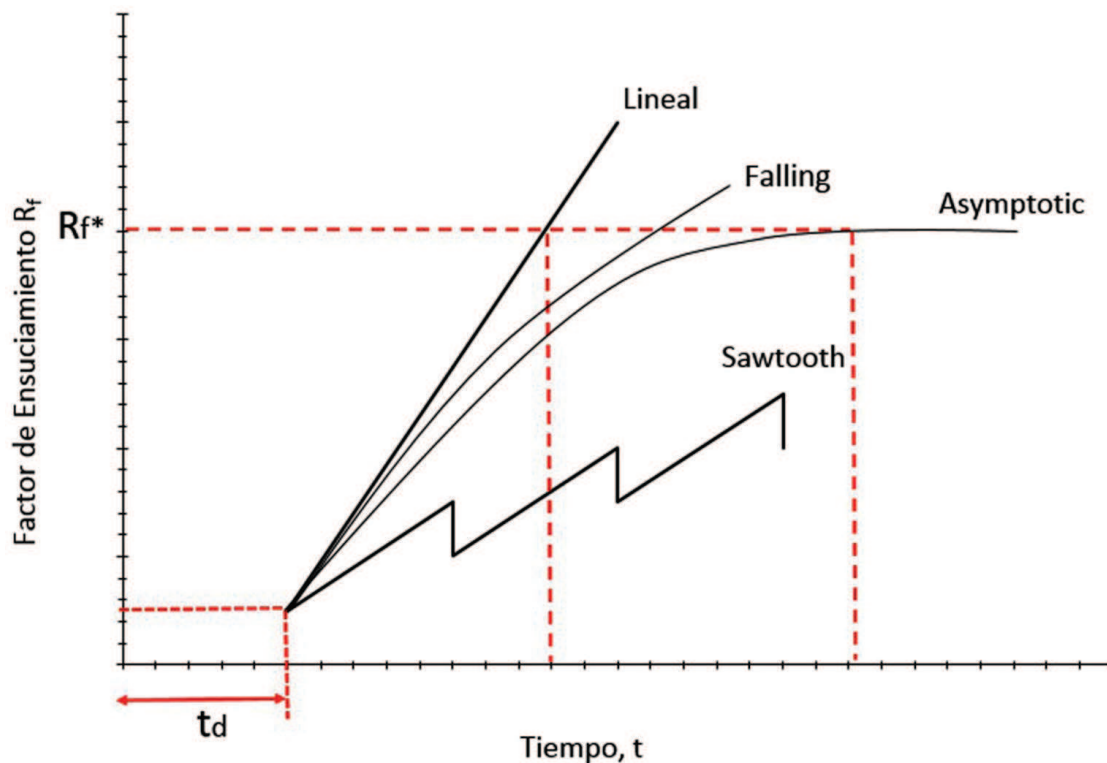


Fig. 3 Curvas de ensuciamiento [14]

5) Tipos de ensuciamiento: hay dos distintos tipos de depósitos, A y B, dependiendo de las reacciones limitantes de los mecanismos de ensuciamiento. Por lo general, el ensuciamiento a temperaturas de calentamiento en un proceso UHT se compone de minerales, tales como, fosfatos de calcio, citratos de calcio y proteínas.

A temperaturas entre 75°C y 115°C se forman depósitos suaves y voluminosos, ricos en proteína, entre un 50-60% p/p; este es llamado ensuciamiento tipo A. Mientras que, a mayores temperaturas por encima de los 110°C, se forman depósitos duros y granulares ricos en minerales, por encima del 80% p/p, llamado ensuciamiento tipo B. Las proteínas del suero, el contenido en los sólidos totales y la temperatura determinan el denominado tipo de ensuciamiento [18] [19] [10].

La β -Lactoglobulina es la responsable de la formación de depósitos tipo A, la cual ocurre en las paredes muy calientes de las tuberías de intercambio de calor durante el tratamiento térmico [27]. La composición del ensuciamiento a las temperaturas de ultra alta, está dominada por el componente mineral, en el que se muestra una cristalización de β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ [28].

En concentraciones de sólidos de hasta 25%, la capa de ensuciamiento consiste mayormente en proteína. A concentraciones altas, relativamente más cantidad de fosfato de calcio y citrato de calcio se vuelven insolubles, aumentando la precipitación mineral durante la formación de la capa de proteína [23].

6) Ensuciamiento por desnaturalización de β -lactoglobulina (β -Lg): el fenómeno de ensuciamiento se puede describir por la cinética de la desnaturalización de proteínas; algunos

planteamientos se enfocan a un análisis general de ensuciamiento bajo un modelo de formación, pero en el ensuciamiento ha sido principalmente responsable la proteína sérica β -Lactoglobulina (β -Lg) [17] [1] [12] [19]. Esta proteína globular es particularmente termosensible, la cual inicia su desnaturalización entre los 61°C y 65°C, dependiendo de las condiciones que la rodean, como, el pH, concentración de calcio y concentración de proteínas del suero [27] [29].

Generalmente, el proceso UHT consta de dos etapas: una de precalentamiento y otra en la que el producto se eleva a su máxima temperatura. Ambas etapas causan desnaturalización y agregación de proteínas del suero e interacciones entre las proteínas del suero y las micelas de caseína. Las proteínas del suero, con estructura compacta globular, son muy sensibles a los calentamientos y pueden ser desnaturalizadas con facilidad [17].

7) Mecanismos de ensuciamiento: el fenómeno del ensuciamiento es un proceso transitorio de transferencia de masa. Son varios los autores que se han dedicado a estudiar este fenómeno y a darle explicación. Los mecanismos de la desnaturalización de la β -Lg son bien conocidos y muchos autores han mostrado que su desnaturalización puede ser vista como una sucesión de dos reacciones cinéticas [27].

La desnaturalización de la β -Lg y la formación de depósitos ocurren simultáneamente a través del calentamiento del flujo de leche Fig. 4. A temperaturas de 115°C, la velocidad de ensuciamiento se relaciona con la concentración de β -Lg desplegada, que es un intermedio en la reacción de desnaturalización. La forma activa de la β -Lg es capaz de agregarse con otras proteínas o es absorbida a través de la capa de ensuciamiento [23] [10].

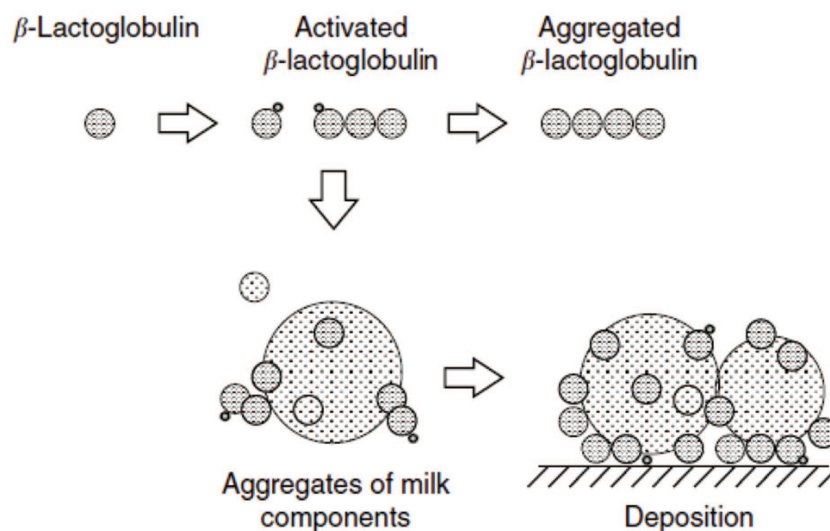


Fig. 4 Mecanismo de ensuciamiento por proteínas y minerales [23]

La cantidad de ensuciamiento se obtiene mediante la integración del flujo a lo largo del tiempo y la distancia en la superficie de calentamiento en el equipo. En general, el proceso de ensuciamiento se considera una reacción heterogénea de adsorción de los componentes de la leche en la superficie de calentamiento, acompañada de transferencia de masa y reacción en la capa límite. En resumen, los agregados de proteína se forman en la primera fase, se transportan a la pared y, finalmente, son adsorbidos en la pared del equipo de tratamiento térmico. Aunque el mecanismo exacto de ensuciamiento es, sin duda, más complejo, la desnaturalización de proteínas se considera el mecanismo clave para explicar la mayor parte de los fenómenos [17].

D. Modelos de ensuciamiento

Los modelos matemáticos de ensuciamiento para predicción en sistemas que trabajan a temperaturas de UHT no son todavía claros. La modelación del ensuciamiento ha sido objeto del interés de investigadores que buscan optimizar el proceso de transferencia de calor. El objetivo principal en el desarrollo de diferentes modelos es usarlos como plataforma en un simulador que pueda predecir el comportamiento del ensuciamiento y la temperatura de la leche como función del tiempo bajo unas condiciones de operación específicas [30].

Existen diferentes técnicas para el desarrollo de los modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor. Estas pueden ser:

- Combinación de un modelo de ensuciamiento de proteína con un modelo hidrodinámico en una dimensión en un intercambiador de calor [17].
- Modelos de variación del coeficiente global de transferencia de calor [19] [31].
- Modelos de reacción [27].
- Modelos que se basan en el espesor del ensuciamiento para la medición de la eficiencia térmica [8].
- Balance hidrodinámico y de calor obteniendo una ecuación diferencial expresando la temperatura y el espesor del ensuciamiento como función del tiempo y la posición [30] [32].
- Redes neuronales por medio de la técnica de elemento lineal adaptativo en intercambiadores de placas [33].

Existen varias consideraciones a la hora de investigar el efecto del ensuciamiento [13]: espesor de la capa de ensuciamiento, porosidad, factor de

ensuciamiento, tasa de ensuciamiento y variación del coeficiente global de transferencia de calor.

El ensuciamiento usualmente se considera como el resultado neto de dos procesos simultáneos. Matemáticamente, la velocidad neta de ensuciamiento se expresa como la diferencia entre la velocidad de deposición y la velocidad de remoción de material de ensuciamiento y uno de los modelos más antiguos que aplica esta teoría es el modelo de Kern-Seaton, en el cual se han basado muchas investigaciones en la actualidad para intercambiadores de tubo. Muchos de los modelos desarrollados derivan de este [34].

Algunos modelos de ensuciamiento se han basado en la predicción y simulación del ensuciamiento en intercambiadores de calor a través del modelo de Fryer-Slater en un intercambiador de doble tubo y luego modificado para intercambiadores de triple tubo helicoidal [22] [35]. Algunos investigadores han realizado una solución iterativa para la estimación precisa del coeficiente de transferencia y la solución por la verificación de la caída de la temperatura de salida de la leche debida al ensuciamiento en un intercambiador de calor tubular [36] [30] [37]. Un modelo de ensuciamiento dependiente de la temperatura fue formulado y simulado en un intercambiador de calor de doble tubo, para predecir el espesor de la capa de ensuciamiento [17].

En general, en el efecto sobre el coeficiente global de transferencia de calor y para el cálculo en el diseño de intercambiadores de calor, se incluye el valor de la resistencia ofrecida por la capa de ensuciamiento, [10] [38] [39], como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_o} + R_f \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

U_o : es el coeficiente global de transferencia de calor en condiciones limpias y proviene de correlaciones empíricas.

U : es el coeficiente global de transferencia de calor en condiciones de ensuciamiento.

R_f : es referido a la resistencia dado por el ensuciamiento calculado así:

$$R_f = \frac{\delta_f}{k_f} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

δ_f : es el espesor de la capa de ensuciamiento y

k_f : la conductividad térmica de la capa de ensuciamiento.

A partir de este modelo se inicia el desarrollo de los actuales modelos matemáticos para relacionar la resistencia ofrecida por la capa de ensuciamiento [8].

E. Modelos matemáticos de ensuciamiento

Durante los últimos años, ha existido un avance en cuanto a la modelación del ensuciamiento en intercambiadores de calor con aplicación en industrias petroquímicas y alimentarias. El estudio relacionado con la desnaturalización de la proteína β -Lg ha permitido que se comprenda mejor el mecanismo de ensuciamiento [9]. A continuación se presentan los aportes adelantados por diferentes investigadores en el área petroquímica y modelos que han tenido su aplicación en la industria láctea.

1) Modelo de Saleh: predice la formación de ensuciamiento a través del cambio en las condiciones de operación que se presenta por la formación de la capa de ensuciamiento. Las condiciones de operación son la presión, la velocidad de flujo y la temperatura de la película [21]:

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha P^\beta v^\gamma \exp\left(\frac{-E}{RT_f}\right) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

R_f : es la velocidad de ensuciamiento.

P : la presión.

V : velocidad.

T_f : la temperatura de la película.

[13] explica que es un modelo de tasa de ensuciamiento creciente y no asintótica. No incluye un término negativo que represente la remoción del ensuciamiento, debido al aumento de la presión en la tubería, como resultado de la reducción del área de paso al aumentar el espesor de la capa de ensuciamiento.

2) Modelo de Ebert-panchal: Ebert y Panchal evaluaron diferentes modelos de insrustración de otros autores y llegaron a la conclusión que los modelos no conseguían prever una condición para el inicio de la incrustación, lo que llamaron, *Threshold Fouling* [40]. De este modo, desarrollaron un modelo que consigue prever la temperatura de inicio del ensuciamiento. La velocidad de ensuciamiento se reduce con el aumento de la velocidad cuando la temperatura de la película es la temperatura de la pared. La siguiente ecuación es la correlación obtenida:

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha N_{Re}^{\beta} \exp\left(\frac{-E}{RT_f}\right) - \gamma \tau_w \quad Ec. 4$$

Donde:

$\frac{dR_f}{dt}$: es la velocidad de ensuciamiento debida a la resistencia térmica.

T_f : la temperatura de la película.

β : constante adimensional.

γ : una constante de remoción.

τ_w : es el esfuerzo de cizalla y es igual a $\frac{f}{2} \rho u^2$

Mostrando así que la velocidad con que se remueve el ensuciamiento depende del esfuerzo de cizallamiento y de la temperatura de la película. La velocidad de remoción se incrementa con el aumento de la velocidad del fluido debido al incremento del esfuerzo de cizalla. Estos modelos fueron empleados para la industria del petróleo en intercambiadores de tubo y coraza [41] [21].

3) Modelo de espesor de Kern-Seaton: hace más de 50 años Kern y Seaton publicaron un documento en el que describen el crecimiento de los depósitos de ensuciamiento en términos de un balance de masa y calor, en estado no estable para la superficie donde se lleva a cabo el fenómeno de transferencia. El desarrollo de este modelo ha sido la base para la aplicación y diseño de intercambiadores de calor [17] [42]. Observaron que la resistencia de la capa de ensuciamiento de muchos intercambiadores de calor en refinerías de petróleo aparecen de forma asintótica con el tiempo. Esto sugiere que el ensuciamiento depende del tiempo y podría aproximarse a una ecuación empírica.

$$\frac{dm_f}{dt} = \dot{m}_f = (\dot{m}_d - \dot{m}_r) = \frac{dR_f}{dt} \rho_d \lambda_d \quad Ec. 5$$

Este modelo asume que la densidad ρ_d y la conductividad λ_d son constantes con el tiempo, así como el espesor del ensuciamiento. La velocidad de deposición $\dot{m}_d = K_1 v C$ fue modelada con una correlación de transferencia de masa y es proporcional a la velocidad de flujo y a la concentración de la sustancia incrustante.

El modelo de Kern-Seaton propone que los depósitos en la superficie de calentamiento en cierto tiempo, es la diferencia entre la velocidad de deposición y remoción de suciedad en toda la superficie [43]

4) Modelo de Fryer-Slater: fue el primer modelo para el estudio de las propiedades térmicas con el tiempo de ensuciamiento en un intercambiador tubular. Este modelo incorpora reacciones químicas de ensuciamiento, es dinámico y de distribución. Describe

una técnica de simulación para el desarrollo de intercambiadores de calor con ensuciamiento de proteínas de la leche. Fryer-Slater calculan la velocidad de ensuciamiento como una función de la temperatura en términos del número de Biot de ensuciamiento [44].

Según la Fig. 5, el espesor de la capa de ensuciamiento δ_a aumenta mientras la temperatura en la interface T_{fi} disminuye.

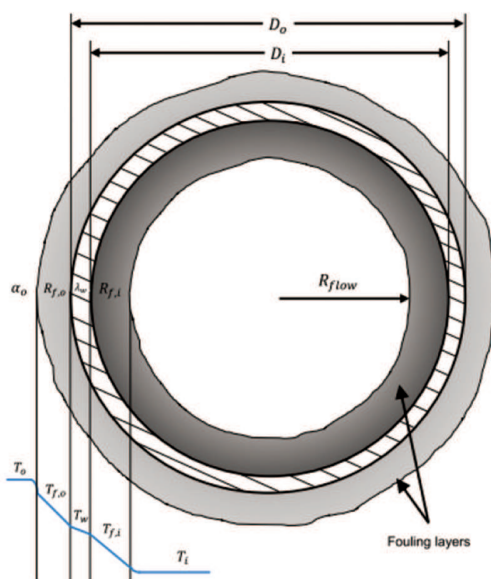


Fig. 5 Perfil de temperaturas en la pared de un tubo con ensuciamiento [44]

Con la aplicación de un balance de flujo de energía en una sección de tubería con la capa de ensuciamiento presente, se tiene la siguiente ecuación:

$$T_{fi} = \frac{T_s + (\phi + Bi)T_f}{1 + \phi + Bi} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde,

$$\phi = h_f^0 \left(\frac{1}{h_s^0} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

y Bi es un número adimensional referido a la resistencia de la capa de ensuciamiento donde esta vez es igual a $(h_f^0 R_f)$.

Los modelos anteriores de Fryer-Salter fueron combinados con el modelo de Kern-Seaton para obtener un modelo para la velocidad de acumulación de sólidos tal y como se presenta en [17] [11] [30] [32].

5) Modelo de Paterson-Fryer: [41] presenta en su trabajo el modelo de Paterson-Fryer como una propuesta para analizar el ensuciamiento formado por la desnaturalización de la proteína de la leche. En este modelo se considera que el periodo de ensuciamiento puede ser definido en tres estados: un periodo de inducción (A); un periodo de ensuciamiento (B) en el que hay un aumento del ensuciamiento en la superficie y, finalmente, un periodo postincrustación (C) en el cual se igualan las velocidades de formación y remoción en un periodo estacionario asintótico, que se define como una película de espesor determinada, como se presenta en la Fig. 6

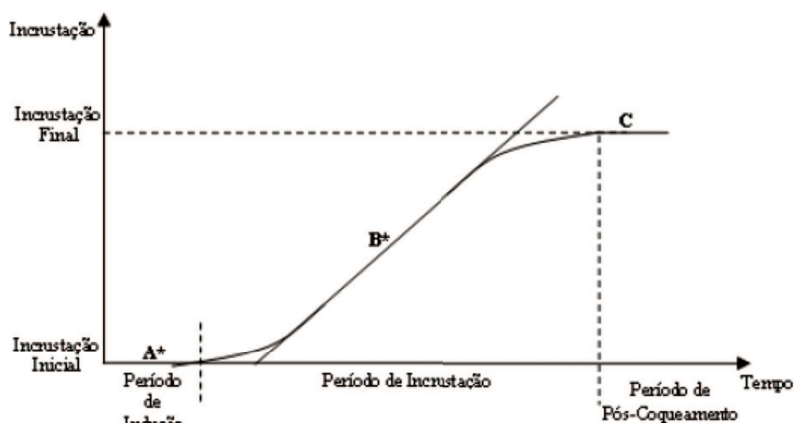


Fig. 6 Curvas idealizadas de ensuciamiento [41]

Se relaciona así:

$$r_i(T) \propto \frac{\exp\left(-\frac{E}{RT_w}\right)}{u} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$r_i(T)$: es una constante de velocidad de incrustación inicial.

T_w : es la temperatura de pared (K).

u : es la velocidad media del fluido (m/s).

En el modelo anterior, la velocidad constante de incrustación $r_i(T)$ está definida así:

$$r = r_i C^n \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

r : es la velocidad de incrustación (mol/m³s).

C : es la concentración del componente (mol/m³).

n : es la orden de la reacción.

En el estudio del espesor de la capa de ensuciamiento, en el modelo de Paterson y Fryer, se relaciona la velocidad constante de ensuciamiento inicial en términos del número de Biot:

$$r_i = \frac{dBi}{dt} \quad \text{Ec. 10}$$

La velocidad de incrustación aumenta cuando aumenta la temperatura de la pared ya que es proporcional a la ecuación de Arrhenius. La relación con el número de Biot establece que un aumento en la velocidad de reacción a través del aumento de la temperatura, provoca un aumento en el espesor de la capa de ensuciamiento.

Después de estudios experimentales se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dBi}{dt} = r_i = \beta_s \frac{\exp\left(-\frac{E}{RT_w}\right)}{u} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

β_s : es una constante (m/s)

6) Modelo de Belmar-Bainy: nuevamente [41] reporta el modelo de Belmar-Bainy basado en el estudio de intercambiadores de calor con fluidos de leche. El estudio afirma que el ensuciamiento consiste en varias etapas que envuelven transferencia de masa y reacciones químicas. Uno de los mayores problemas de la incrustación es la interdependencia entre las reacciones químicas y la hidrodinámica.

En el modelo se considera la temperatura de la pared constante y un espesor determinado de ensuciamiento, en el que la resistencia total es la suma de la resistencia térmica del fluido sin y con incrustación:

$$R_{Total} = R_o + R_f \quad \text{Ec. 5}$$

Esto es equivalente a:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_o} + R_f = \frac{1}{U_o} + \frac{x}{\lambda_d} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

U : coeficiente global de transferencia de calor (Kw/m²K).

U_o : coeficiente global de transferencia sin ensuciamiento.

$R_f = \frac{x}{\lambda_d}$: es la resistencia debida a la capa de ensuciamiento.

Reorganizando y reemplazando el concepto del número de Reynolds en el modelo de Paterson y Fryer se tiene:

$$\frac{dBi}{dt} = \beta_s \frac{v D \exp\left(-\frac{E}{RT_{fi}}\right)}{N_{Re}} \quad \text{Ec. 14}$$

La propuesta del modelo considera la temperatura de interface entre la capa de ensuciamiento y el fluido, pues suponen que la región turbulenta tiene influencia en el proceso de ensuciamiento.

Sustituyendo : $k_d^* = \beta_s v D$:

$$\frac{dBi}{dt} = \frac{k_d^*}{N_{Re}} \exp\left(-\frac{E}{RT_{fi}}\right) - k_r Bi \quad Ec. 7$$

Donde k_d^* es una constante de velocidad de deposición de ensuciamiento (s^{-1}) y K_r la constante de velocidad de remoción (s^{-1}).

El modelo de Belmar y Beiny lleva incluido el término de remoción; de este modo, este modelo es igual que el propuesto por Fryer-Slater, excepto por el término de deposición que es inversamente proporcional al número de Reynolds [41].

7) Modelos de velocidad de ensuciamiento: la mayoría de los estudios presentados parten del modelo de Kern-Seaton en combinación con la propuesta de Fryer-Slater, en la que se analiza la evolución del espesor de la capa de ensuciamiento con el tiempo. Esta combinación de modelos ha sido empleada en las últimas dos décadas, destacándose las siguientes investigaciones que tienen gran importancia en la modelación y simulación: [45], en un equipo de calentamiento a escala de laboratorio, analizando la evolución del espesor de la capa de ensuciamiento y la temperatura de calentamiento; [22], con aplicación en un intercambiador de doble tubo; [35] y [46] lo aplicaron en un intercambiador de triple tubo; [17], en el estudio del espesor del ensuciamiento en función de la cinética de desnaturalización de proteína; [30], en el estudio de la evolución de la temperatura de calentamiento y el cambio en el número de Biot. Estos modelos han encontrado amplia aplicación en el diseño de intercambiadores para la industria de la leche. En la siguiente ecuación se describe la velocidad de acumulación de sólidos en términos del número de Biot.

$$\frac{dBi}{dt} = k_d \exp\left[-\frac{E}{RT}\right] - k_r Bi \quad Ec. 8$$

8) Resultados de las diferentes simulaciones: en la literatura se encuentran reportados los resultados de las simulaciones realizadas por varios investigadores, con variación de diferentes propiedades. Así, por ejemplo, [46] emplearon una tubería de calentamiento de 2,28 m de largo y seleccionaron 46 nodos con una separación de 0,05 m. El número de iteraciones se calculó dividiendo el tiempo total del proceso por el tiempo requerido por la leche para viajar por toda la longitud del intercambiador de calor. Por su parte, [30] utilizaron una longitud de 4,7 m de tubería en la sección de calentamiento y se dividió en 95 nodos con separación de 0,05m.

Las variables tenidas en cuenta por estos autores en las simulaciones y para las cuales encontraron resultados similares fueron: variación de la temperatura con la longitud, variación de la temperatura de salida con el tiempo, variación del espesor de la capa de ensuciamiento con la longitud, variación del espesor de la capa de ensuciamiento con el tiempo y variación del número de biot con la longitud.

9) Modelos de ensuciamiento combinados: [2] realizaron una modelación en una dimensión. Se aplicó a tres diferentes configuraciones de planta de UHT, en las que simulan el comportamiento en una tubería y luego extrapolan los resultados en el resto de tuberías del sistema. El modelo desarrollado hace énfasis en la predicción del ensuciamiento, inactivación bacteriana y las reacciones iniciadas por el calor. Consideran el modelo de la ecuación de continuidad para los diferentes componentes a través de un pequeño volumen finito del intercambiador de calor, combinada con la ecuación de energía sobre el mismo elemento de volumen.

[17] estudiaron un sistema que implica la combinación del modelo de espesor de Kern-Seaton y reacciones de desnaturalización de proteínas a través de un modelo cinético en el que intervienen tres reacciones. Tuvieron en cuenta el efecto que tiene la temperatura de proceso y el cálculo del coeficiente

global de transferencia de calor que se encontró a través del conocimiento de la temperatura, obtenida por medio del balance en estado dinámico del intercambiador. La temperatura se empleó para calcular el coeficiente convectivo a través de correlaciones, el cual depende de las propiedades térmicas y físicas del alimento, que están en función de la temperatura.

El modelo empieza a desarrollarse con el cálculo de las propiedades termofísicas de la leche lo cual se puede realizar por medio de diferentes modelos empíricos [47]. Luego, se asume que la temperatura del medio de calentamiento es la temperatura de la pared; con ello, se calcula el coeficiente global de transferencia de calor corregido.

10) Modelos de ensuciamiento basados en la reacción de desnaturalización de proteína: el planteamiento de modelos de reacción se basa en los alimentos que presentan desnaturalización de proteínas. [17] aplican un modelo cinético en el que se asume que las reacciones químicas de ensuciamiento toman dos etapas. En la primera, la β -Lg (N) pierde su estructura ternaria. La proteína desdoblada (U) se convierte en un agregado de proteína (A); esta última juega un papel importante en el proceso de ensuciamiento y este paso de agregación es una reacción de segundo orden. Las proteínas desdoblablas (U) pueden reaccionar con otros constituyentes de la leche (M) para formar otros agregados (F) que también pueden formar ensuciamiento (F^*) [27] [10] [48]. A continuación se presenta un esquema de la dirección que toman las reacciones de desnaturalización de la β -Lg en el proceso de ensuciamiento:



Donde:

N: proteína nativa.

U: proteína desnaturalizada.

A: proteína agregada.

F: proteína depositada.

Estos esquemas de reacciones cinéticas pueden ser llevadas a ecuaciones diferenciales reuniendo todos los parámetros cinéticos necesarios para el modelo de reacción de despliegue y agregación [49].

F. Medición y monitoreo de la capa de ensuciamiento

El monitoreo del ensuciamiento requiere una alta demanda en la calidad del sistema de medición y análisis. La medición puede hacerse de forma experimental o analítica. Las dos principales características presentadas por la presencia de ensuciamiento son la reducción de la eficiencia térmica y el incremento de la caída de presión. Existen formas experimentales como la caída de presión, el monitoreo de la temperatura y la transferencia de calor, parámetros eléctricos, ópticos, métodos acústicos, ultrasonido, etc. También se encuentran métodos numéricos y computacionales, en los que se verifica la variación hidrodinámica. Lo más tradicional en laboratorio son pesadas directas, en las que se tara el tramo de la tubería con el tratamiento, y es apropiado que haya un balance preciso para detectar los pequeños cambios de masa; necesariamente, se utiliza una tubería con una capa delgada para reducir el error y aumentar la exactitud del método. La otra opción es medir el espesor directamente, ya que en ocasiones la capa de ensuciamiento resulta ser muy delgada, en el orden de los 50 μm . Se extrae una fracción de la capa de ensuciamiento que esté dura y se realiza una medición directa con un micrómetro o al microscopio. También se puede aplicar la técnica de conductividad eléctrica para la medición del espesor.

1) Caída de presión: el ensuciamiento es causal de la disminución del diámetro hidráulico durante el tiempo de operación, generando una caída de presión del sistema y la falla en la operación. Cuando se desarrolla el ensuciamiento, el cuadrado medio del área en una tubería decrece, conduciendo a la caída de presión a una velocidad de flujo constante [18] [8] [25]. Por lo tanto, el estudio de la caída de presión es importante en la comparación de diferentes sistemas y condiciones de proceso.

2) Temperatura y parámetros de transferencia de calor: cuando se desarrolla el ensuciamiento, la transferencia de calor disminuye y la temperatura de salida del producto cae. Si se fija la temperatura del producto, la temperatura del medio de calentamiento se incrementa. Esto se usa para medir la presencia de ensuciamiento, ya que el alto incremento de la temperatura del medio de calentamiento informa acerca de la presencia de ensuciamiento. Los cambios de temperatura pueden usarse para determinar el ensuciamiento, y la temperatura de salida y los parámetros de flujo, para desarrollar un modelo para el control de la esterilización de la leche [11] [18].

Los parámetros de transferencia de calor como el flujo de calor, el coeficiente global de transferencia de calor y la resistencia al ensuciamiento están basados en los cambios de temperatura, velocidad de flujo, conductividad térmica del producto, medio de calentamiento y la capa de incrustación. [19] citan la ecuación para el monitoreo del ensuciamiento a través de los cambios del coeficiente global de transferencia de calor (*Overall heat transfer coefficient*, OHTC por sus siglas en inglés), durante la esterilización de leche. Así mismo, para [18]:

$$OHTC = \frac{GC_p \Delta \theta}{A \Delta T_{lm}} \quad Ec. 17$$

Donde:

G: es el flujo másico de la leche en kg/s.

C_p : el calor específico del producto en J/kg°C.

$\Delta \theta$: la diferencia de temperatura entre la entrada y salida en la sección de ultra alta temperatura en °C del producto.

A: el área de intercambio de calor en m².

ΔT_{lm} : diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD) en °C, definida por:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_o - T_{mo}) - (T_o - T_{mi})}{\ln[(T_o - T_{mo}) / (T_o - T_{mi})]} \quad Ec. 18$$

Donde:

T_o : es la temperatura del medio de calentamiento.

T_{mo} y T_{mi} : son las temperaturas de la leche a la entrada y salida de la sección de ultra alta temperatura.

[19] y [18] investigaron la relación del efecto de la temperatura de calentamiento a diferentes tiempos de retención o mantenimiento en combinación con un intervalo de temperaturas de ultra alta, con leche reconstituida, para encontrar el tiempo de trabajo, como lo muestra la Figura 7.

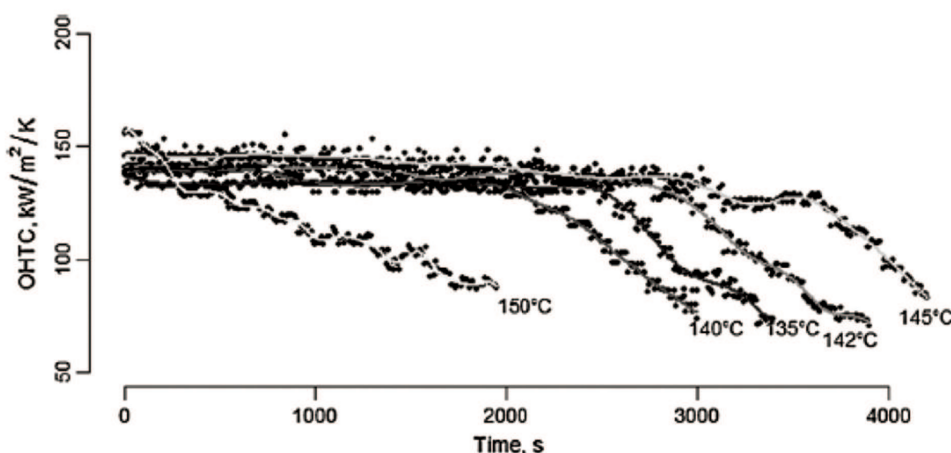


Fig. 7 Variación del OHTC con leche reconstituida precalentada a 95°C y temperatura ultra alta de 135, 140, 142, 145 y 150°C [19]

Otra forma de monitorear el ensuciamiento es la que presentan [50], como la velocidad del cambio de las características de transferencia de calor en la sección de alta temperatura, indicada por el cambio en la diferencia de temperatura ΔT a la salida del producto:

$$\Delta T = T_w - T_m \quad \text{Ec. 19}$$

Donde, T_w es la temperatura de entrada de agua caliente y T_m es la temperatura de salida de la leche.

Los valores de velocidad de flujo de leche y de agua caliente, y las temperaturas de entrada y salida de leche se fijan constantes; esto permite que la tasa con que cambia ΔT sea un reflejo directo de la tasa de cambio del coeficiente global de transferencia de calor en la sección de calentamiento y tome el atributo de tasa de ensuciamiento (*fouling rate*, FR).

$$FR = \frac{(\Delta T - \Delta T_{t_0})}{t} \quad \text{Ec. 20}$$

La tasa de ensuciamiento FR se calcula con base en una línea de regresión de ΔT versus el tiempo durante el periodo de operación.

[51] presentan una forma sencilla de monitorear el ensuciamiento en sus ensayos de recubrimientos de superficies de transferencia de calor. Ya que el flujo de calor y la temperatura de la leche se mantienen constantes, R_f puede calcularse con el incremento de la temperatura de la superficie con el tiempo, con lo que se puede graficar la resistencia frente al tiempo:

$$R_f(t) = \frac{T_{superficie(t)} - T_{superficie, limpia}}{\dot{q}} = \frac{\delta_f}{k_f} \quad \text{Ec. 21}$$

3) Mecanismos de medición del espesor de ensuciamiento: en los estudios relacionados con la limpieza de intercambiadores de calor para UHT, es importante monitorear el grosor de la capa de ensuciamiento para medir la efectividad del procedimiento de limpieza. [28] emplearon un sensor láser de triangulación para monitorear el espesor

de la capa de ensuciamiento durante el proceso de limpieza. Consiste en la medición del ángulo que el láser refleja a través de la superficie, calculado a la distancia entre el láser y la superficie, encontrando buenas lecturas.

Otros métodos de medición de la capa de ensuciamiento, mientras se lleva a cabo la deposición, es el uso de trazos radiactivos, sistemas ópticos y sistemas infrarrojos (desarrollo y eliminación de biopelículas) [34]. [21] mencionan investigaciones en las que el crecimiento de la capa de ensuciamiento se mide a través de la conductividad eléctrica haciendo fluir una solución de proteína del suero del 1% en un intercambiador de platos.

4) Sistemas para la detección de la presencia de ensuciamiento: [24] desarrollaron una técnica basada en la combinación de parámetros de ultrasonido y redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés). Aquí, los cambios de los parámetros son sensibles a los cambios que sufre el área de transferencia de calor. Se mide la energía de los dos primeros ecos, amortiguación de la señal y la impedancia acústica característica y para mejorar la detección y desarrollar un método de reconocimiento de estos patrones, se combinaron con una red neuronal artificial. Una ANN es una emulación de una red biológica que puede establecer casi que cualquier relación entre los datos de los modelos de construcción entre un conjunto de vectores de entrada y de salida. Las ANNs han sido también usadas para monitorear y predecir el ensuciamiento en calderas y en diseños de operaciones de limpieza de intercambiadores de placas.

[25] cita a varios autores que usan la técnica de ultrasonido. Uno de ellos usa un haz de ultrasonido a través de un transmisor acústico para controlar la evolución de la potencia acústica y el retardo de estas en un intercambiador de calor de platos durante el ensuciamiento y la limpieza, y lo compara con la caída de presión y la masa de los depósitos en cada plato. Los resultados mostraron la disminución del poder acústico y el retraso del ensuciamiento.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los intercambiadores indirectos de calor empleados para aplicaciones de UHT en la industria de la leche son más propensos a sufrir ensuciamiento comparados con sistemas directos [1]. Debido a la formación de una capa de ensuciamiento compuesta por proteínas desnaturalizadas y una fracción mineral en las paredes de calentamiento, se aumenta la frecuencia de los lavados químicos de los intercambiadores de calor, incurriendo en un impacto ambiental y pérdidas de capacidad de proceso. Para ampliar los tiempos efectivos de trabajo es preciso estudiar cómo están relacionadas las variables de proceso, velocidad de flujo (velocidad de cizallamiento), temperatura del seno del fluido, temperatura del vapor para calentamiento del fluido de calentamiento, caída de presión en medio de la entrada y salida de producto a través de la tubería de calentamiento y además conseguir la estabilización de proteínas para disminuir la concentración de proteínas agregadas.

El mecanismo de ensuciamiento está basado en un fenómeno de transferencia de masa que ocurre en el seno del fluido de leche, formando depósitos en las paredes de intercambio de calor. Este fenómeno lo atribuyen la mayoría de los autores, a la proteína del suero β -Lg. Se entiende que la desnaturalización de esta proteína sufre varias etapas hasta generar los depósitos [27] [29] [1] [10]. [17] presentaron estas etapas como de desnaturalización, de agregación y de deposición final. La capa de ensuciamiento de composición proteica es de baja conductividad, lo que crea una resistencia adicional a la transferencia de calor, afectando el valor del coeficiente global y disminuyendo la eficiencia térmica del proceso de calentamiento [18].

Las diferentes etapas de desnaturalización de proteínas están gobernadas por la energía de activación de Arrhenius y dependen de la temperatura en que se lleva a cabo el calentamiento [27]. Gracias al análisis de la aplicación de los modelos, se pudo encontrar que el aumento de temperatura

es directamente proporcional al grado de ensuciamiento que se entiende por el aumento en la desnaturalización de la β -Lg y aumento en la generación de depósitos en las paredes del intercambiador de calor [30] [46].

En general, los modelos de ensuciamiento presentados, junto con el estudio de la cinética de la desnaturalización de la β -Lg, han ayudado a comprender mejor los mecanismos de ensuciamiento [11]. Los modelos muestran que la velocidad de ensuciamiento está influenciada principalmente por el grado de calentamiento del fluido, por la formación de una capa de ensuciamiento que ofrece una resistencia térmica que cambia los coeficientes globales de transferencia de calor y por la velocidad de cizallamiento en el seno del fluido [42] [17].

Los modelos presentados por [30], [32], [46], [35] y [22], desarrollados a partir del concepto de Kern-Seaton sobre la velocidad de ensuciamiento y del de Fryer-Slater en el que se emplea el número de Biot y se relaciona el coeficiente de película interfacial con la conductividad térmica de la capa de ensuciamiento, resultan ser los más apropiados para estudiar cómo evoluciona la capa de ensuciamiento en función del tiempo y de la temperatura del proceso.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente artículo, se realizó una recopilación bibliográfica acerca de los temas relacionados con mecanismos y modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor usados en fluidos lácteos. En estos se presenta una información de las aplicaciones de modelos matemáticos como los de Kern-Seaton y Fryer-Slater en intercambiadores de calor de doble y triple tubo. Estos modelos presentados por los autores son de gran utilidad para realizar aplicaciones y simulaciones a escala piloto e industrial. La información que entregan es muy apropiada para el uso de simulaciones de procesos de UHT y permite el seguimiento a la cinética de ensuciamiento en simulación de procesos.

En los modelos hallados se encontró un factor común: la velocidad de ensuciamiento es el resultado de la diferencia de la velocidad con que se acumulan los depósitos y la velocidad de remoción de estos. La velocidad de acumulación está influenciada por la temperatura y la cinética de desnaturalización de la β -globulina. A su vez, la velocidad de remoción está influenciada por la velocidad de cizallamiento en el seno del fluido, la cual tiene un efecto inverso a la deposición, removiendo el ensuciamiento. Este comportamiento fue explicado por el modelo de Kern-Seaton citado por [42], en el cual se observó un comportamiento asintótico, sin periodo de iniciación. A medida que pasa el tiempo, la velocidad de ensuciamiento se hace constante debido a que se igualan la velocidad de deposición y la de remoción.

El modelo de Kern-Seaton ha tenido amplia aplicación para explicar el fenómeno de ensuciamiento en intercambiadores de calor con aplicación en lácteos. Sin embargo, en años recientes, dicho modelo se ha combinado con una propuesta de Fryer-Slater en la que se involucra el número de Biot adimensional, que relaciona la conductividad térmica de la capa de ensuciamiento con el coeficiente de película interfacial entre la pared y el seno del fluido de leche.

[17], [30], [32], [46], [35] y [22] realizaron una simulación aplicada de los modelos de Kern-Seaton y Fryer-Slater en un intercambiador de calor de tubos, obteniendo resultados muy acertados, por lo que se concluye que estos modelos funcionan perfectamente para explicar el fenómeno de ensuciamiento. Los modelos desarrollados por los anteriores autores se basaron en el estudio del espesor de la capa de ensuciamiento, la temperatura de proceso y el cambio en el número de Biot con el tiempo.

Finalmente, de acuerdo con estos hallazgos, se puede concluir que los modelos de Kern-Seaton y Fryer-Slater, aunque de los más antiguos, son los de mayor uso en simulación de procesos de ensuciamiento en la actualidad y son modelos dinámicos que relacionan la velocidad de deposición y remoción de ensuciamiento, la temperatura y el número de Biot.

En investigaciones posteriores es recomendable desarrollar modelaciones de ensuciamiento realizando comparaciones de procesos en las que se utilicen diferentes tipos de leche que involucren adición de sustancias, como estabilizantes, espesantes, azúcar, harinas. Se deben verificar los resultados de las diferentes formulaciones y estudiar, a la vez, la composición de la capa de ensuciamiento para determinar las propiedades térmicas de esta para su inclusión en posteriores estudios de ensuciamiento. También es importante el análisis de los resultados de las modelaciones sobre intercambiadores con superficies internas modificadas, como rugosidad y recubrimientos, que afectan el coeficiente global de transferencia de calor; a su vez, generar más turbulencia para aumentar la velocidad de cizallamiento y así aumentar el valor en el segundo término del modelo de Kern-Seaton.

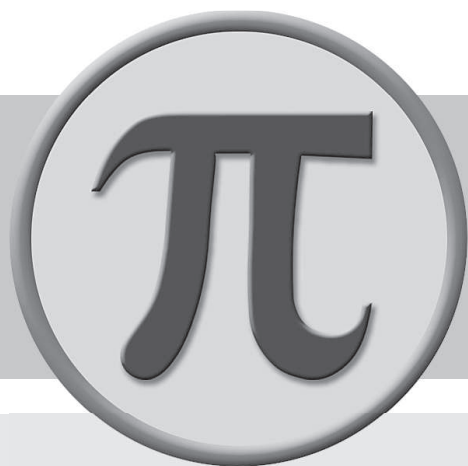
Este trabajo puede ser de interés para estudios de sistemas de limpieza de intercambiadores de calor, pues se presenta el análisis de parámetros de proceso como temperatura de calentamiento, espesor de la capa de ensuciamiento y cinética de ensuciamiento que ayude a minimizar costos en la limpieza y hacer mejoras en los ciclos empleados para disminuir el ensuciamiento. Por otro lado, la estrategia presentada por autores como [30] y [36], de lo cual se puede consultar en la fuente con más detalle, es una oportunidad para estudiosos en el área de transferencia de calor y simulación de procesos.

REFERENCIAS

- [1] L. Deeth and M. Lewis, "Protein stability in sterilized milk and milk products," *Advanced Dairy Chemistry*, 2016, pp. 247-286.
- [2] K. Grijspeerdt, L. Mortier, J. De Block and R. Van Renterghem, "Applications of modelling to optimise ultra high temperature milk heat exchangers with respect to fouling," *Food Control*, 2004, pp. 117-130.
- [3] H. Deeth and N. Datta, "Ultra-High Temperature Treatment (UHT): Heating Systems," *Elsevier*, 2011, pp. 699-707.
- [4] V. Behera, D. Das and A. Nayak, "Numerical Analysis of triple tube heat exchanger using Ansys," *Journal of Scientific & Engineering Research*, 2014, pp. 1226-1231.

- [5] D. Patel, V. Dhiman and J. Patel, "CFD Analysis of triple tube concentric heat exchanger," *Journal of Scientific Reserch & Development*, 2014, pp. 729-732.
- [6] M. Akkerman, "The effect of heating processes on milk whey protein denaturation and rennet coagulation properties," Tesis Maestria, 2014.
- [7] C. Ebieto and G. Eke, "Parformance Analysis of Shell and Tube Heat Exchangers: A Case Study," *Journal Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2012, pp. 899-903.
- [8] L. Gomez da Cruz, E. Ishiyama, C. Boxler, W. Augustin, S. Scholl and D. Wilson, "Value pricing of surface coating for mitigating heat exchanger fouling," *Food and Bioproducts Processing*, 2015, pp. 343-363.
- [9] C. Hangsten, A. Altskar, S. Gustafsson, N. Lorén, L. Hamberg, F. Innigs, M. Paulsson and T. Nylander, "Composition and structure of high temperature dairy fouling," *Food Structure*, 2016, pp. 13-20.
- [10] E. Sadeghinezhad, S. Kazi, M. Dahari, M. Reza, R. Sadri and A. Badarudin, "A comprehensive review of milk fouling on heated surfaces," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, pp. 1724-1743.
- [11] H. Chen, "Surface Fouling during Heating," in *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological*, New York, Taylor & Francis, 2011, pp. 1628-1631.
- [12] J. Petit, A. Herbig, A. Moreau and G. Delaplace, "Influence of calcium on B-Lactoglobulin denaturation kinetics: Implications in unfolding and aggregation mechanisms," *Journal Dairy Science*, 2011, pp. 5794-5810.
- [13] S. M. Rodriguez, "Desarrollo de un simulador para analisis y control del ensuciamiento en intercambiadores de calor y tubos," Universidad de Sevilla, Sevilla España, 2014.
- [14] T. Ardsomang, J. Hines and B. Upadhyaya, "Heat exchanger fouling and estimation of remaining useful life," in Annual conference of prognostics and health management society, 2013.
- [15] K. Huang and J. Goddard, "Influence of fluid milk product composition on fouling and cleaning of Ni-PTFE modified stainless steel heat exchanger surfaces," *Journal of Food Engineering*, 2015, pp. 22-29.
- [16] H. Wijayanti, N. Bansal and H. Deeth, "Stability of Whey Protein During Thermal Processing: a Riview," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, pp. 1235-1251.
- [17] H. Molina-Perez, J. Cano-Gómez, C. Diaz-Ovalle and F. Castillo-Borja, "Equivalencia del espesor de ensuciamiento con B-Lg desnaturalizada en el calentamiento de leche," *Avances en Ciencia e Ingenieria*, 2015, pp. 49-62.
- [18] E. WallhauBer, M. A. Hussein and T. Becker, "Detection methods of fouling in heat exchangers in the food industry," *Food Control*, pp. 1-10, 2012.
- [19] S. Prakash, O. Kravchuk and H. Deeth, "Influence of pre-heat temperature, pre-heat holding time and high-heat temperature on fouling of reconstituted skim milk during UHT processing," *Journal of Food Engineering*, 2015, pp. 45-52.
- [20] A. Mouheb and L. Oufer, "Experimental simulation of the fouling in a cylindrical control by milk," *Journal of Applied Sciences*, 2008, pp. 2187-2190.
- [21] A. Boolorchi and M. Nasr, "A model for fouling of plate-and-frame heat exchangers in food industry," *Journal of Chemical Engineering*, 2011.
- [22] I. A. Ansari, M. Sharma and A. K. Datta, "Milk fouling simulation in a double tube heat exchanger," *International communications heat and mass transfer*, 2003, pp. 707-716.
- [23] T. Britz and R. Robinson, *Advanced Dairy Science and Technology*, Oxford : Blackwell Publishing, 2008.
- [24] E. Wallhauber, W. Hussein, M. Hussein, J. Hinrichs and T. Becker, "On the usage of acoustic properties combined with an artificial neural network - A new approach of determining presence of dairy fouling," *Journal of Food Engineering*, 2011, pp. 449-456.
- [25] M. Alharthi, *Fouling and Cleaning Studies of Protein Fouling at Pasteurisation Temperatures*, Birmingham, 2013.
- [26] E. Sadeghinezhad, S. Newaz, A. Badarudin, M. Nashrul, M. Zubair, B. Loftizadeh and C. Sean, "A review of milk fouling on heat exchanger surfaces," *Rev Chemical Engineering*, 2013, pp. 169-188.
- [27] J. Petit, A. Moreau, G. Ronse, P. Debreyne, L. Bouvier, P. Blanpain-Avet, R. Jeanter and G. Delaplace, "Role of Whey Components in the Kinetics and Thermodynamics of B-Lactoglobulin Unfolding and Aggregation," *Food Bioprocess Technology*, 2016.
- [28] C. Hangsten, N. Loren, L. Hamberg, J. Wiklund, F. Innings, L. Nilsson, M. Paulsson, C. Tragardh and T. Nylander, "A Novel fouling and cleaning set-up for studying the removal of milk deposits produced during uht-treatment," in Proceedings of international conference on heat exchangers fouling and cleaning, Budapest, 2013.
- [29] F. Karche, M. Weterings and M. Beyrer, "The effect of temperature and shear upon technological properties of whey protein concentrate: Aggregation in a tubular heat exchanger," *International Dairy Jornal*, 2016.
- [30] S. Kadam and A. Datta, "Estimation of Thermal Properties and Heat Transfer Study during Continuous Processing of Rice in Milk," *Chemical Engineering Communications*, 2015, pp. 345-355.
- [31] R. Harche, A. Mouheb and R. Absi, "The fouling in the tubular heat exchanger of algiers refinery," *Heat Mass Transfer*, 2015.
- [32] A. Chaturvedi, S. Acharya and A. Datta, "Prediction of fouling thickness and bulk milk outlet temperature by artificial neural network (ANN) modeling in helical triple tube milk sterilizers," Proceedings of international conference on heat exchanger fouling and cleaning VIII, 2009, pp. 231-236.
- [33] C. Riverol and V. Napolitano, "Estimation of overall heat transfer coefficient in a tubular heat exchanger under fouling using neural networks. Aplication in a flash pasteurizer," *International Communications Heat and Mass Transfer*, 2002.
- [34] M. Awad, "Fouling of heat transfer surfaces," in *Heat transfer - Theroretical analysis, experimental investigations and industrial systems*, Rijeka, Intech, 2011.
- [35] P. K. Sahoo, I. A. Ansari and A. K. Datta, "Milk fouling simulation in helical triple tube heat exchanger," *Journal of Food Engineering*, 2005, pp. 235-244.
- [36] P. K. Nema and A. K. Datta, "A computer based solution to check the drop in milk outlet temperature due tu fouling in tubular heat exchanger," *Journal of food engineering*, no. 71, 2005, pp. 133-142.

- [37] P. K. Sahoo, I. A. Ansari and A. K. Datta, "A computer bases iterative solution for accurate estimation of heat transfer coefficients in a helical tube heat exchanger," *Journal of Food Engineering*, 2003, pp. 211-214.
- [38] X. Bai, T. Luo, K. Cheng and F. Chai, "Experimental study on fouling in the heat exchangers of surface water heat pumps," *Appld Thermal Engineering*, 2014, pp. 892-895.
- [39] G. Quadir, N. Ahmed and I. Badruddin, "Numerical Investigation of the permormance of a triple concentric pipe hea exchanger," *International Journal of Heat of Mass Transfer*, 2014, pp. 165-172.
- [40] M. Ramasamy and U. Deshannavar, "Effect of bulk temperature and heating regime on crude oil fouling: an analysis," *Advanced Research Materials*, 2014, pp. 189-198.
- [41] R. Ornellas do Valle, *Determinacao da taxa de incrustacao em trocadores de calor com o auxilio de metodos de otimizacao*, Rio de Janeiro: COPPE UFRJ, 2012.
- [42] H. Muller-Stainhagen, "Heat Transfer Fouling: 50 Years After the Kern and Seaton Model," *Heat Transfer Engineering*, 2011, pp. 1-14.
- [43] T. Paakkonen, U. Ojaniemi, T. Pattikangas, M. Manninen, R. Keiski, and C. Simonson, "CFD modelling of calcium carbonate crystallization fouling in heat transfer surfaces," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, pp. 618-630.
- [44] F. Coletti, B. Crittenden, A. HASlam, G. Hewitt, G. Jackson, G. Jimenez-Serratos, S. Macchietto, O. Matar, E. Muller, D. Sileri and J. Yang, "Modeling of fouling from molecular to plant scale," in *Crude Oil Fouling*, Elevier Inc, 2015, pp. 179-320.
- [45] P. Schreier, and P. Fryer, "Heat exchanger fouling: a model study of the scaleup of laboratory data," *Chemical engineering science*, 1995, pp. 1311-1321.
- [46] P. Nema and A. Datta, "Improved milk fouling simulation in a helical triple tube heat exchanger," *International Journal of Heat of Mass Transfer*, 2006, pp. 3360-3370. [47] S. Sahim, and S. Gulum, "Physical properties of food," New York: Springer, 2006.
- [47] L. Bouvier, A. Moreau, G. Ronse, T. Six, J. Petit and G. Delaplace, "A CFD model as a tool to simulate beta-lactoglobulin heat-induced denaturation and aggregation in a plate heat exchanger," *International dairy journal*, vol 12, 2002, pp. 285-292.
- [48] P. de Jpng, M. de Giggel, H. Straatsma, and M. vissers, "Reduction of fouling and contamination by predictive kinetic models" *Journal of Food Engineering*, 2014, pp. 56-63.
- [49] A. Srichantra, D. Newstead, O. Maccarthy and A. Paterson, "Effect of preheating on fouling of a pilot scale uht sterilizing plant by recombined, reconstituted and fresh whole milks," *Food and bioproducts precoessing*, 2006, pp. 279-285.
- [50] C. Boxler, W. Augustin and S. Scholl, "Cleaning of whey protein and milk salts soiled on DLC coated surfaces at high temperature," *Journal of Food Engineering*, 2013, pp. 29-38.



LA DESERTIFICACIÓN DEL SUELO, ASPECTOS Y ESTRATEGIAS DE LUCHA

THE DESERTIFICATION OF THE SOIL, ASPECTS AND CONTROL STRATEGIES



¹Lizeth D. C Molina, ²Liliana P. Lozano

¹Universidad de La Salle, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, D.C. Colombia

²Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia

¹ldcmolina@unisalle.edu.co

²llozano2@cuc.edu.co

Recibido: 11/08/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

La desertificación es el resultado acumulado de un contexto climático difícil y de la utilización inapropiada de la tierra. La recuperación de suelos desertificados comprende todas las actividades que mejoran las tierras de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, con miras a un desarrollo sostenible. Siendo la pérdida de fertilidad del suelo una de las consecuencias más críticas de la desertificación, se hace indispensable el estudio y la adopción de estrategias encaminadas a prevenir y rehabilitar las tierras desertificadas. En el presente artículo, se hace una revisión de estas estrategias, con el objetivo de identificar, reunir, analizar y discutir el conocimiento existente sobre cada una. Se inicia con una revisión de los conceptos, causas y consecuencias ecológicas, económicas y sociales de la desertificación. Seguidamente se presentan las estrategias de prevención y rehabilitación sobre las cuales se han realizado investigaciones, incluyendo estrategias de adaptación y, finalmente, un análisis de las mismas.

Palabras claves: adaptación, desertificación, desarrollo, pobreza, prevención, rehabilitación, tierras.

ABSTRACT

The desertification of the soil is the cumulative result of difficult climatic circumstances and the inappropriate use of the land. The recovery of desertified land includes all activities that improve the land in arid, semi-arid and dry sub-humid areas, with a view to sustainable development. The loss of soil fertility is one of the most critical consequences of desertification, so it is indispensable the study and the adoption of strategies to prevent and rehabilitate desertified land. In this article, these strategies are reviewed, with the objective to identify, collect, analyze and discuss the existing knowledge about each. It begins with a review of the concepts, causes and ecological, economic and social consequences of desertification. Then, the strategies for prevention and rehabilitation on which research has been conducted, including adaptation strategies, and finally an analysis of them are presented.

Keywords: adaptation, desertification, development, land, prevention, rehabilitation.



I. INTRODUCCIÓN

La desertificación del suelo es una problemática a escala mundial por sus efectos ambientales, económicos y sociales y, principalmente, por su estrecha relación con la pobreza y el hambre considerándose una amenaza para el desarrollo sostenible. El 25% del área terrestre del planeta está altamente degradada o con altos índices de degradación; cada decenio se pierde unos 120 millones de hectáreas de tierra equivalente a la extensión de Sudáfrica por efecto de la desertificación y la sequía [1]; son 169 los países que han declarado estar afectados por la desertificación [2]. Esta situación es alarmante si se considera que tan solo en América Latina, para el año 2050, el 50% de sus tierras podrían estar afectadas por esta problemática [3].

Las cifras de Colombia resultan no menos alentadoras: el 17% del territorio colombiano se encuentra en proceso de desertificación [4] y el 24% de sus tierras son susceptibles a esta [5], siendo los departamentos del Atlántico y la Guajira, ubicados en la Región Caribe al norte del país, los más afectados con 93.3% y 87.5% de su superficie desertificada [6]. Detener e invertir las tendencias actuales de degradación de la tierra y la desertificación es el próximo paso lógico y rentable para las agendas de desarrollo nacional e internacional [7] en miras de lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

La investigación realizada es de tipo descriptiva [8], consistente en una revisión bibliográfica de las estrategias de lucha contra la desertificación encaminadas a la prevención, rehabilitación y adaptación, con el objetivo de proveer bases teóricas que permitan establecer criterios para su implementación. Se escogieron publicaciones realizadas en los últimos seis años, además de aquellas publicaciones que por su reconocimiento en el tema se consideran como básicas. La información obtenida se organizó por subtemas para su revisión y análisis y, finalmente, se estructuró y redactó el resultado o desarrollo de la investigación en el siguiente orden:

- Aspectos generales de la desertificación: definición, causas y consecuencias.
- Estrategias de lucha contra la desertificación: de prevención, de rehabilitación de suelos desertificados y de adaptación a la desertificación.

II. ASPECTOS GENERALES DE LA DESERTIFICACIÓN

La degradación del suelo se refiere al deterioro de sus características físicas, químicas y/o biológicas que conllevan a la reducción o pérdida de su productividad (biológica y económica) de bienes y servicios, afectando su capacidad de autorregulación y disminuyendo la capacidad actual y futura que tiene el suelo para sustentar la vida humana [9, 10, 11, 12, 13]. La desertificación se refiere a “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas” [14] (esta definición excluye las tierras hiperáridas y hace referencia a la definición internacional establecida por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación, aprobada en París, el 17 de junio de 1994, fecha conmemorativa del Día Internacional de Lucha contra la Desertificación).

Este proceso de degradación es exclusivo de las tierras secas [15] y tiene como principales causas las variaciones climáticas y las actividades humanas, factores que no son aislados e independientes, sino sinérgicos. Señalar las variaciones climáticas como una causa independiente y exclusiva de la desertificación, no es justificable debido a que en las regiones áridas los ecosistemas naturales pueden soportar sequías prolongadas prácticamente sin daños, ya que la vegetación y los suelos de éstas regiones se han adaptado a estas condiciones durante miles de años cuando la presión del hombre era aún ligera [16], de manera que, la influencia del clima en los procesos de desertificación se hace

notoria cuando favorece que las consecuencias derivadas de la acción humana sean mucho más agudas [17] y ejerzan mayor presión sobre los ecosistemas, convirtiéndolos en frágiles para resistir los efectos del clima y la sequía, lo que genera un círculo vicioso de degradación [18, 19, 20].

De las acciones del hombre se derivan una serie de causas directas, indirectas y subyacentes. Las causas directas por las que el hombre ejerce presión

son la deforestación y las inadecuadas prácticas agrícolas; estas dos son condicionadas y fortalecidas por una serie de causas indirectas, alimentadas a su vez por causas subyacentes, las cuales se encuentran identificadas en la Fig. 1 [21], [2], [22], [20], [23, 24, 25, 26, 27] Generalmente, los programas de mitigación y combate de la desertificación se enfocan, equivocadamente solo en las causas directas, dejando en segundo plano las indirectas y las subyacentes, teniendo como resultado poco o nulo éxito en sus acciones [28].

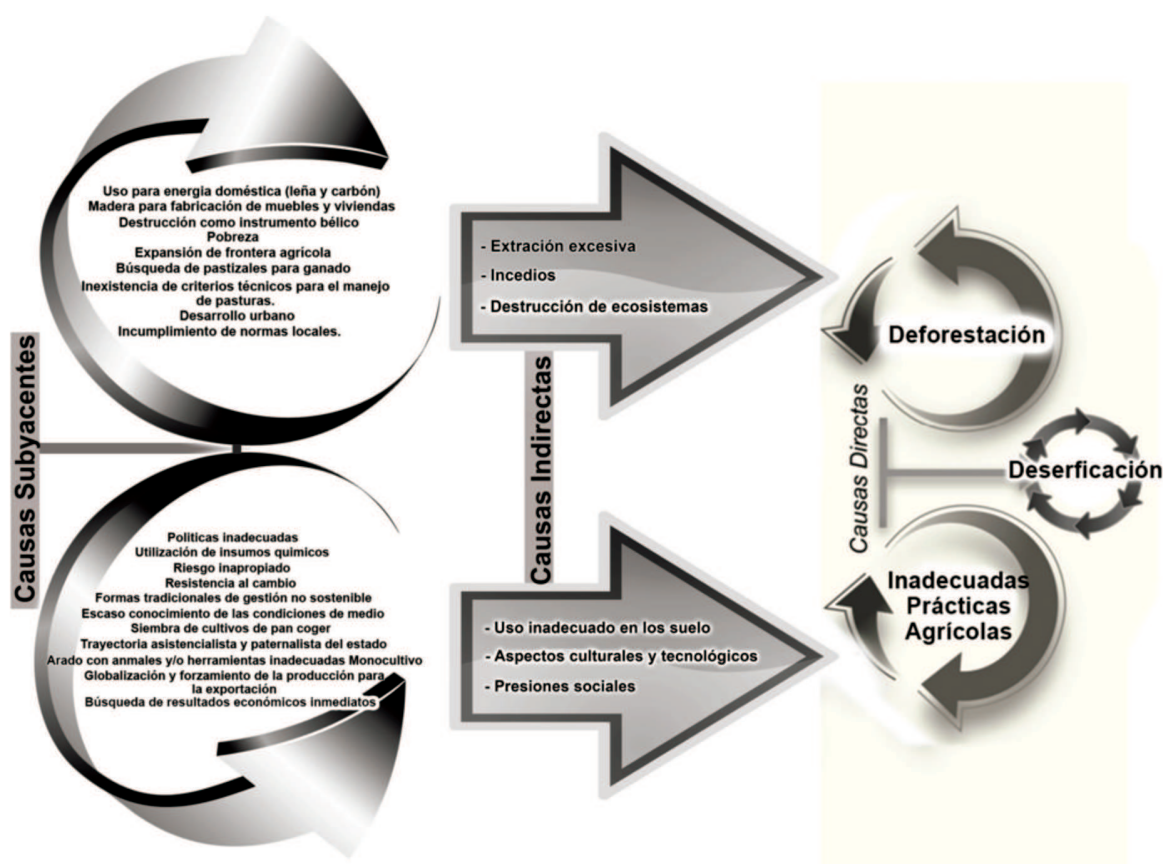


Fig. 1 Causas antrópicas de la desertificación

La principal consecuencia de la desertificación es la pérdida de la capacidad productiva del suelo, desencadenando una serie de factores socioeconómicos como son la pobreza, problemas de salud, desnutrición y mortandad, lo que desemboca incluso en radicalismos, extremismos o guerras por los

recursos naturales para la supervivencia, obligando a las comunidades pobres dependientes de la tierra a luchar o emigrar [15], [29, 30]; tan solo como consecuencia de la desertificación, antes de 2045 alrededor de 135 millones de personas podrían desplazarse [31]. En los casos más extremos, el

hambre y la pobreza se asientan y se convierten tanto en la causa como en la consecuencia de mayor degradación [32]. Sumado a lo anterior, la desertificación también contribuye al cambio climático mundial aumentando el albedo de la superficie terrestre y disminuyendo la tasa actual de evapotranspiración, modificando el equilibrio energético en la superficie y la temperatura del aire contiguo, añadiendo polvo y dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera [6], [2].

III. ESTRATEGIAS DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN

A. Estrategias para la prevención de la desertificación

La prevención se logra mediante la adopción de prácticas sostenibles del uso de la tierra. Aquellas que por su efectividad se estudian en este artículo, son:

1. Agricultura de siembra directa – SD: consiste en la implantación de cultivos sin remoción o labranza previa del suelo y con una cobertura permanente de residuos de cosecha anteriores sobre la superficie [33]. Al evitar remover la tierra y mantener una cobertura de rastrojos, se contribuye a mejorar la estructura y estabilidad de los agregados del suelo, incrementar su fertilidad, mantener la humedad y reducir la oxidación de la materia orgánica. Los canales generados por las lombrices y las raíces son más estables y permiten mayor ingreso de agua al perfil; se protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia; reduce la velocidad de escurrimiento del agua y la pérdida del suelo en sitios con pendientes; amplía el tiempo de permanencia sobre los residuos para una mejor infiltración, además de obtener un efecto inhibitorio sobre diversos patógenos (plagas, malezas y enfermedades) y de aumentar el rendimiento promedio en la producción de cultivos [34, 35, 36, 37]. Para lograr estos efectos, la SD debe complementarse con la rotación de cultivos, de lo contrario, no se obtendrán los resultados de preservación y recuperación del suelo [38, 39].

El 81% de las tierras de cultivo de Argentina utiliza SD, posicionándose como líder mundial en la adopción de esta tecnología. Con este sistema, se ha logrado allí una ganancia de hasta 100 mm de agua útil al año con respecto a la labranza convencional, lo que representa un incremento en la producción de 1.700 Kg/ha de maíz, 1.400 Kg/ha de sorgo y 800 Kg/ha de trigo por año [33].

Como aspectos desfavorables de la SD, se considera que al no haber remoción del suelo se proporciona un hábitat adecuado para el aumento en abundancia y diversidad de fauna del suelo (invertebrados, moluscos, anélidos e insectos), algunos de los cuales son perjudiciales para las actividades agrícolas-ganaderas. Sin embargo, estudios realizados señalan que en cultivos de soja en los que se utiliza la SD, no se registran diferencias ni aumentos significativos en la diversidad y en la abundancia de fauna perjudicial con respecto a cultivos en los cuales se utiliza siembra convencional [40].

2. Agricultura forestal o agroforestería: es un sistema de cultivo mixto que busca mantener o imitar algunas de las estrategias que el bosque natural aplica para asegurar nutrientes a toda la cobertura vegetal, con lo cual se pretende lograr un consumo equilibrado de los nutrientes disponibles en el suelo sin que exista el agotamiento de ninguno en particular.

Los sistemas agroforestales combinan el uso de la tierra con especies leñosas (agrosilvicultura), agrícolas (plantación de árboles en granjas ya existentes) y/o animales (silvopastoreo) con el fin de diversificar la producción [21], [41]. El propósito es lograr un sinergismo que conlleve a la protección de los cultivos de la acción del viento gracias a las barreras formadas por los árboles, a la provisión de sombra inicial dada por los cultivos a las plántulas y al aprovechamiento de nutrientes de horizontes inferiores de los suelos a través del sistema radicular de los árboles [42]; los árboles son refugio para las aves, mamíferos y otros organismos los cuales enriquecen el área bajo el dosel con nutrientes mediante sus defecaciones lo que se refleja en la menor

necesidad de aportes externos de abonos y plaguicidas que otros cultivos sin árboles asociados, además de proteger el suelo contra la erosión eólica e hídrica, mantener la estructura y regular el agua en el suelo [43].

B. Estrategias para la rehabilitación de suelos desertificados

Sin duda, el aspecto más dañino de la desertificación es la disminución de su capacidad productiva, es decir, su fertilidad, por lo que es necesario recuperar el aporte de materia orgánica y las condiciones ambientales para que los microorganismos edáficos cumplan su papel [21].

Una estrategia, es el uso de enmiendas orgánicas que favorecen la recuperación de la estructura edáfica del suelo, mejoran la composición natural y su contenido de nutrientes, reducen las necesidades hídricas [44], disminuyen la erosión y mejoran la nutrición de las plantas, dando como resultado mayores rendimientos y menor susceptibilidad a los ataques de plaga [45].

La mejora en la composición y las características de abonos se da a través del compostaje, proceso mediante el cual se busca una descomposición biológica de los componentes orgánicos de los materiales desechados que se produce bajo condiciones controladas en las cuales intervienen variados microorganismos (bacterias, hongos y lombrices) que requieren oxígeno, humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido [46]. Entre los productos compostados utilizados como enmiendas de suelos se estudian los residuos sólidos, agrícolas y ganaderos:

1. Residuos sólidos: es de destacar el proyecto realizado en San José de Saco, departamento del Atlántico, al norte de Colombia, por la Fundación Manejo Integrado del Medio Ambiente [47], que soluciona una de las principales problemáticas de la localidad como es la generación de 1.500 kilos/día de residuos, los cuales por su inadecuada disposición, ocasionaban deterioro estético, contaminación del

suelo y de los cuerpos de agua con los consecuentes problemas de proliferación de vectores y enfermedades en la población. Mediante un acuerdo comunitario se logró dar solución al 90% de la problemática de disposición de basuras mediante la separación en la fuente en tres categorías: residuos orgánicos, residuos reciclables y materiales peligrosos o no reciclables. Los residuos orgánicos generados se tratan mediante vermicompostaje transformándolos en abono útil para la rehabilitación de suelos desertificados y erosionados de la comunidad, beneficiando familias de escasos recursos al incentivar el cultivo de especies como pepino, acelga, tomate, pimentón, pepino, berenjena, entre otros, y generando ingresos económicos a través de la venta de sus productos mejorando de esta forma su calidad de vida [47].

2. Residuos agrícolas: [48] evaluaron la calidad del compost elaborado a partir de residuos proveniente del proceso de molienda de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) Los tratamientos fueron: 100% cachaza (T1); 75% cachaza y 25% bagazo (T2); 50% cachaza y 50% bagazo (T3); 25% cachaza y 75% bagazo (T4) y 100% bagazo (T5), todos suplementados con 2 m³ de vinaza. Los resultados obtenidos al final del proceso, 90 días, mostraron que la combinación T3 presentó la mejor calidad con valores de NPK (1,3; 2,5 y 1,0% respectivamente), valores de carbono orgánico de oxidable de 22.1% y pH casi neutro (7.1) haciéndolo ideal para ser aplicado en cualquier tipo de suelo, cumpliendo con la Norma Técnica Colombiana NTC-5167 [49].

3. Residuos ganaderos: [50] analizaron el efecto del vermicompostaje producido a partir de estiércol vacuno, sobre algunas propiedades del suelo y la biomasa vegetal. Ellos observaron que al aplicar el vermicompost no solo se aportó nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas (N y P y otros elementos), sino también se mejoró la capacidad de carga de los suelos, lo que provoca un efecto positivo al estimular el crecimiento de estas. Sin embargo, la utilización del vermicompost en proporciones muy altas (mayores del 50%) puede tener un efecto negativo en el crecimiento vegetal.

En suelos desertificados del Sur del departamento del Atlántico, Colombia, se aplicó *Eichhorniacrassipes*, conocido como Buchón de Agua. Es una planta acuática de rápida proliferación, indicadora de contaminación por presencia excesiva de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio contribuyendo a los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua. Su compostaje permitió utilizarla como mejorador de las condiciones de fertilidad en suelos desertificados logrando así una doble conveniencia: por un lado, la liberación de los espejos de agua con lo que se facilita el drenaje y se lucha contra la eutrofización y, por otro, se logra la producción de materia orgánica para ser aplicada como abono al suelo al momento de la explotación agrícola [26], [51].

C. Lodos provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales (biosólidos)

Son lodos resultantes del proceso de depuración de aguas residuales que se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica y de nutrientes [52]; su composición varía de acuerdo con la procedencia de las aguas residuales por lo que pueden contener organismos patógenos y metales pesados los cuales representarían un peligro para la salud y el medio ambiente. Su disposición final conlleva a problemáticas como la contaminación del suelo, subsuelo y aguas subterráneas, olores desagradables, proliferación de vectores y deterioro estético.

Debido al aumento en su generación, se considera la necesidad de encontrar alternativas sostenibles para los lodos entre las que se encuentran su estabilización mediante tratamientos físico, químico o biológico y la reducción de su potencial contaminante. A este lodo estabilizado, se le conoce como biosólido y su contenido de materia orgánica permite que pueda ser utilizado en el suelo como enmienda orgánica, mejorando sus propiedades biológicas y físicas con lo cual se aumenta el grado de resistencia mecánica de los suelos frente a acciones antrópicas (laboreo) o naturales como el efecto del golpe de la gota de lluvia; mejora la capacidad de intercambio catiónico ya que como coloide contribuye a la absorción de iones, al almacenamiento de elementos nutrientes para las

plantas y a la protección física de microorganismos; mejora la porosidad y el drenaje del suelo y la actividad enzimática y microbiológica, lo que avala el uso de lodo residual como fuente potencial de mejoramiento de suelos [53, 54, 55].

La estabilización de los lodos con altos contenidos de patógenos, coliformes fecales y huevos de helmineto mediante composteo y vermicomposteo permite su uso sin ninguna objeción en agricultura, observándose concentraciones de macronutrientes totales (N, P K, Ca y Mg), mayores que la de otros abonos orgánicos, y altos contenidos de la fracción extraíble de estos elementos, además de niveles de concentración de metales pesados adecuados o normales, siendo un factor positivo para su uso como abonos [56, 57, 58].

Entre las limitaciones del uso de lodos residuales como fertilizantes se encuentra que estos pierden progresivamente su contenido de nitrógeno y fósforo, según se reduce su contenido de agua lo que da como resultado proporciones de N, P y K, con una concentración alrededor del 3%. Los lodos tienen un valor fertilizante más alto cuando se utilizan en la fase líquida. Otra limitación es el hecho de que la capacidad de adsorción de estos hace que los lodos acumulen metales pesados en los mismos. Como los metales pesados permanecen junto a los sólidos de los lodos, su concentración aumenta según se reduce progresivamente el contenido de agua [59].

D. Lodos provenientes de industrias del papel

En el caso de lodos provenientes de la industria de papel se ha planteado que su uso estaría orientado básicamente a fungir como enmienda, dado su bajo contenido de nutrientes [60]. Sin embargo, ensayos en campo han mostrado incrementos en los rendimientos para algunos cultivos, crecimiento del carbono microbiano y de la actividad de la enzima deshidrogenada, resultando un buen indicador de la actividad microbiana [61, 62].

E. Estrategias de adaptación a la desertificación

Cuando la problemática de la desertificación es irreversible, o cuando los costos para su prevención

y rehabilitación superan las ganancias de producción de los terrenos, se deben considerar alternativas de adaptación. La alternativa más conocida es el riego por goteo, que se viene implementando en países desarrollados, pero con limitaciones de recursos naturales como Israel, pionero en esta tecnología. Consiste en el suministro uniforme de agua a través de tuberías con perforaciones que controlan el caudal de agua que recibe la planta. El riego por goteo, como estrategia de adaptación a la desertificación, permite que los suelos desertificados se aprovechen con fines agrícolas al ser utilizados únicamente como soporte, puesto que el sustrato necesario para el desarrollo de las plantas es suministrado por medio de este sistema.

Esta tecnología se justifica a pequeña escala y en escenarios con limitaciones de suelos agrícolas, y de recursos hídricos y energéticos. Su utilización ofrece perspectivas favorables de contribuir a la producción hortícola y representa una alternativa promisorio para ser introducida en los programas nacionales de la agricultura [63]. No solo permite un uso de los suelos desertificados, sino que mejora el aprovechamiento del agua en áreas con grandes limitaciones para acceder a este recurso.

Investigaciones realizadas afirman que con el riego por goteo se logra un ahorro de agua entre el 30 y el 50% con respecto al riego por aspersión, por inundación y/o continuo, debido a que la aplicación de agua

es de bajo volumen en comparación con dichos sistemas de riego, lo que permite conservar el agua, incrementar significativamente la calidad y producción de los cultivos y aumentar el área de riego. Entre las ventajas adicionales se encuentra la aplicación de agroquímicos por medio de inyección (fertirriego) y, por ende, el ahorro en mano de obra y un mejor aprovechamiento en los nutrimentos por el cultivo, aspecto que se destaca en relación con el uso de suelos desertificados para la agricultura [64], [63], [65, 66].

IV. ANÁLISIS

Las estrategias presentadas en esta revisión, atienden a una situación en particular del grado de desertificación: prevención, rehabilitación y adaptación; sin embargo, estas estrategias no serán del todo efectivas si no van acompañadas de acciones que conduzcan a una gestión sostenible de las tierras secas tales como la declaración de áreas protegidas; el mantenimiento de la funcionalidad y sostenibilidad de los ecosistemas, en especial los estratégicos; los programas de conservación de la biodiversidad en tierras secas y el acompañamiento al sector agrícola como sector clave en la producción de alimentos para la población.

Haciendo un análisis de cada una de las estrategias presentadas, desde el punto de vista de los autores se puede señalar lo indicado en la Tabla 1:

TABLA I.
ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN

TIPO	ESTRATEGIA	REQUERIMIENTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	ANÁLISIS
Prevención	Agricultura de siembra directa (SD)	Rotación de cultivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la estructura del suelo. • Conserva la humedad y la porosidad del suelo. • Aumenta la fertilidad. • Reduce el escurrimiento y la erosión. 	Posible aumento de microfauna perjudicial para los cultivos	La prevención es la opción más económica y sostenible para luchar contra la desertificación. Estas estrategias requieren de políticas nacionales tendientes a disminuir los riesgos de desertificación en tierras susceptibles. Dichas políticas deben procurar la destinación de esfuerzos y recursos para la investigación, protección de los suelos, y la concientización y capacitación de las comunidades en técnicas agrícolas sostenibles.
	Agroforestería	Especies con requerimientos nutricionales diferentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Se reduce el agotamiento de nutrientes del suelo. • Menor uso de abonos y plaguicidas. • Potencialización del uso de la tierra. • Regulación del agua en el suelo. • Protección contra la erosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • La combinación de agrosilvicultura y silvopastoreo, puede ocasionar daños en los cultivos al ser deteriorados por el paso de animales. • Las producción de cultivos se ve limitada por las extensiones de tierra disponible. 	

TIPO	ESTRATEGIA	REQUERIMIENTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	ANÁLISIS
Rehabilitación	Compostaje de residuos sólidos, agrícolas y ganaderos	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de residuos en la fuente generadora. • Cercanía de la fuente generadora al sitio de aplicación. • Infraestructura disponible y control de factores y variables durante el proceso de compostaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de residuos, disminuyendo los problemas de contaminación asociados a su disposición. • Producto con alto contenido de materia orgánica que mejora la estructura del suelo y aumenta su fertilidad. 	La aplicación de proporciones muy altas puede tener un efecto negativo en el crecimiento de las plantas.	<p>El uso de enmiendas y/o abonos es la alternativa ideal para aportar los nutrientes perdidos en suelos desertificados. Los residuos compostados es una alternativa para la solución de diversas problemáticas ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de residuos cuya generación va en aumento. • Contaminación de suelos y aguas asociada a su comúnmente mala disposición. • Reducción de áreas destinadas a su disposición final.
	Compostaje de Biosólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Su valor fertilizante está sujeto al mantenimiento de la fase líquida en los lodos. • Requiere periodos de estabilización largos para la eliminación de organismos patógenos y reducir su potencial contaminante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de propiedades biológicas y físicas del suelo (CIC, almacenamiento de nutrientes, incremento de la porosidad y drenaje del suelo, mejora la actividad enzimática y microbiológica). • Proporciona al suelo resistencia frente a acciones antrópicas y naturales. Contienen concentraciones de macronutrientes totales (N, P K, Ca y Mg) y altos contenidos de la fracción extraíble de estos elementos adecuados para su uso como abono. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de patógenos y/o metales pesados que pueden contaminar suelos y acuíferos. • Pérdida progresiva de nutrientes y aumento de la concentración de metales pesados, conforme se reduce su contenido de agua. 	<p>Esta alternativa en auge, amplía cada vez más la posibilidad de aprovechar residuos de diversas características, composición y origen, por lo que la investigación en esta área se encuentra en crecimiento.</p> <p>Sin embargo, esta estrategia presenta dificultades al momento de su aplicación a escalas reales por factores como es el traslado desde el sitio de generación de los residuos hasta el lugar de su estabilización y posteriormente a las áreas afectadas.</p>
	Compostaje de lodos papeleros	Requiere la utilización de otros productos para mejorar su bajo contenido de nutrientes (residuos ganaderos, orgánicos y agrícolas)	<ul style="list-style-type: none"> • Buen indicador de actividad microbiana. • Mejora propiedades físicas del suelo como la porosidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo contenido de nutrientes. • En altos porcentajes puede inhibir el crecimiento de las plantas y aumentar las condiciones de anoxia en suelos por lo que se requiere la mezcla con otras enmiendas. 	
Adaptación	Riego por goteo o Fertiriego	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento del personal en el uso de la técnica. Conocimiento de la demanda de agua y requerimiento de los cultivos. • Si bien reduce el consumo de agua, requiere de la disponibilidad de este recurso para su funcionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de suelos desertificados como soporte de cultivos. • Reduce la cantidad de agua empleada para riego. • Suministro directo de nutrientes requeridos a la planta. 	Costos iniciales de inversión, sin embargo la relación costos/beneficios es satisfactoria al considerar el uso de suelos desertificados y el uso eficiente del agua en zonas con limitación de acceso y disponibilidad del recurso.	Aunque esta tecnología pionera de países con problemas de desertificación irreversibles, puede considerarse también una estrategia de prevención. La organización del sector agrícola es fundamental para el aprovechamiento de esta tecnología, ya que por sus costos, pequeños agricultores difícilmente podrían acceder a ella.

V. CONCLUSIÓN

Mediante la revisión realizada se concluye que, si bien la restauración de los suelos desertificados debe conducir a la recuperación de su fertilidad, son realmente las medidas de prevención y adecuado uso de los mismos en las que se deben centrar los esfuerzos. La prevención requiere de cultura, educación e incentivos, dado que en muchos casos los programas de mitigación y combate de la desertificación se enfocan, equivocadamente, solo a las causas directas dejando en segundo plano las causas indirectas y subyacentes teniendo como resultado poco o nulo éxito en sus acciones.

Las técnicas de compostaje de material orgánico ofrecen una amplia gama de posibilidades con efectos positivos sobre la estructura del suelo, permitiéndole a este recuperar características importantes para su productividad. De estos materiales orgánicos, el compostaje de lodos es una alternativa que debe considerarse, puesto que su aplicación tiene un doble efecto ambiental positivo: acondiciona y mejora el suelo, y se reduce su volumen destinado a su disposición final. Se recomienda la profundización de los beneficios de la aplicación de lodos procedentes de diferentes fuentes en el suelo, mediante la realización de investigaciones que puedan establecer parámetros para su provecho y aplicación.

REFERENCIAS

- [1] FAO. "The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) Managing systems at risk", 2011, p113.
- [2] CNULD. "Adaptación y resiliencia basada en la tierra impulsadas por la naturaleza. Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación", Alemania, p2 2014a.
- [3] IFAD. (2010, Agosto). Desertification. [Online]. Available: <http://www.wmo.int/youth/sites/default/files/field/media/library/idad-desertification.pdf>
- [4] MADS-IDEAM. (2012). Problemática de la degradación de suelos y tierra en Colombia. Taller Nacional realizado el viernes 30 de noviembre de 2012. [Online] Available: https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/20121210_Problematica_degradaci%C3%B3n_Suelos_Tierras_Colombia_MADS.pdf
- [5] SIAC. (2015). Web site del Sistema de Información Ambiental de Colombia. [Online]. Available: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=893&conID=1432>
- [6] PNUD. "Estado de avance de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo." Guajira. Colombia. 2012.
- [7] CNULD. "La Tierra en cifras, los medios de subsistencia en su punto de inflexión." Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación, Alemania. 2014b.
- [8] A. Merino. "Cómo escribir documentos científicos (parte 3)." Artículo de revisión. Revista Salud en Tabasco, Vol. 17, núm. 1-2, pp 34-40. México. 2011.
- [9] D. De la Rosa. "Evaluación agro-ecológica de suelos: para un desarrollo rural sostenible" España. Mundi - Prensa. 2008.
- [10] FAO. "Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos." FAO/PNUMA.FAO4. Roma. 1980.
- [11] OMM. "El clima y la degradación de tierras." Organización Meteorológica Mundial. No. 989. 2006.
- [12] M. Espinosa, E. Andrade. P. Rivera y A. Romero. "Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México." Revista Papeles de Geografía. Número 53-54, pp 77-88. Universidad de Murcia, España. 2011.
- [13] CNULD, "Neutralidad en la degradación de la tierra. La resiliencia a escala local, nacional y regional." Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación, Alemania, p24. 2014c.
- [14] ONU. Programa 21. [Online]. Available: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter11.htm>
- [15] CNULD. "La desertificación. Esa invisible línea de frente." Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación, Alemania, p18. 2014d.
- [16] D. Granados, M. Hernández, A. Vázquez y P. Ruíz, "Los procesos de desertificación y las regiones áridas," Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 19(1). pp 45-66. 2013.
- [17] C. Morales, S. Parada, y S. Pobreza," Desertificación y degradación de los recursos naturales" Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Santiago de Chile, p273. 2005.
- [18] I. Soares y B. De Souza, "Solos e desertificação no sertão paraibano." Revista Caderno do Logepa 6(2). pp101-114. 2011.
- [19] A. Pereira. y M. Soares, "Degradação ambiental e desertificação no semiárido mineiro: um estudo sobre o município de Espinosa (MG)." Revista Geográfica de América Central, Número Especial EGAL. pp 1-16. 2011.
- [20] F. López. (2012, Mayo). Desertificación, un riesgo ambiental global de graves consecuencias. Cuaternario y Geomorfología, Norteamérica, 20. [Online]. Available: <http://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/article/view/16991/10406>
- [21] C. Peña y G. Cardona. "Dinámica de los suelos amazónicos. Procesos de degradación y alternativas para su recuperación." Instituto Sinchi, Bogotá, 2010, p115.

- [22] L. Torres, "Claroscuros del desarrollo sustentable y la lucha contra la desertificación: las racionalidades económicas en el ojo de la tormenta. Estudio de caso con productores caprinos de tierras secas (Mendoza, Argentina)." *Revista Mundo Agrario*, Vol. 11 No. 21. 2014.
- [23] K. Mora. (2011). Prácticas agrícolas coloniales y degradación del suelo: el caso de Saquencipá. *Revista Geográfica de América Central, Norteamérica*, 2. [Online]. Available: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2418>
- [24] CNULD, "El pastoreo femenino. La conservación de los conocimientos tradicionales. Respuestas a los nuevos desafíos" Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación, Alemania, 2007, p45.
- [25] S. Rigotti, "El conflicto del campo. Matrices culturales e identificaciones políticas." *Revista Mundo Agrario*, 15(29). 2014.
- [26] Fondo de Asistencia del Sector Privado (FASEP). (2011) Gestión de las aguas y del suelo del Embalse del Guájar. Informe sobre manejo agrícola y conservación de suelos. [Online]. Available: <http://www.aigos.com.co/guajaro/es/fs-command/informeSUME.pdf>.
- [27] ESC. "Plan de manejo ambiental del distrito de manejo integrado – DMI- Luriza, Usiacurí – Atlántico," Fundación Ecosistemas Secos –ESC. Colombia. 2011.
- [28] J. Pulido y G. Bocco, "¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? Panorama global y local." *Revista Interciencia*. Volumen 36 No. 2. pp 96-103. 2011.
- [29] E. Andrade, M. Espinosa y A. Romero, "Acciones de lucha contra la desertificación en ambientes semiáridos en el noroeste de Tamaulipas, México," *Revista Papeles de Geografía*, núm 49—50, 2009, pp15-26.
- [30] M. Jaramillo. "Desertification and Infant Mortality in Colombia." En el marco de The 5th International Conference on Drylands, Deserts and Desertification. Blaustein Institutes for Desert Research Sede Boqer Campus of Ben-Gurion University, Israel. 2014.
- [31] Global Humanitarian Forum (GHF). (2009). Human Impact Report – Climate Change. The Anatomy of A Silent Crisis. GHF, Geneva. [Online]. Available: <http://www.ghf-ge.org/human-impact-report.pdf>
- [32] CNULD. "Las tierras y los suelos en el contexto de una economía verde para lograr el desarrollo sostenible, la seguridad alimentaria y la pobreza." La presentación de la Secretaría de la CNULD para el proceso de la conferencia Río+20. Alemania. 2011.
- [33] INTA. (2011, Febrero). Siembra Directa. Actualización Técnica No. 58. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. [Online]. Available: http://inta.gob.ar/documentos/siembra-directa/at_multi_download/file/Siembra%20Directa%202011.pdf
- [34] M. Báez y J. Aguirre, "Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo." *Tierra Latinoamericana*, vol. 29, núm 2, 2011, pp 113-121.
- [35] A. Navarro y otros. "Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Núm 4, 2012, pp 690-697.
- [36] A. Báez-Pérez y otros, "Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3, núm 8. 2012, pp 1509-1519.
- [37] R. Crespo y otros, "Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la Región Central de la provincia de Buenos Aires." *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Tomo 42 No. 1, 2010, pp 93-106.
- [38] F. Castilla. "Siembra directa: la elegida para conservar el suelo." *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 013. 2013. Vol. 39 No. 2, 2013.
- [39] P. Campitelli y otros, "Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba." *Revista Ciencia del Suelo*. 28(2), 2010, pp 223-231.
- [40] D. Scuffi y otros, "¿La práctica de la siembra directa en cultivos de soja favorece las poblaciones de acridios (Orthoptera: Acrididae) en el partido de Benito Juárez?" *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. Vol. 71, núm. 3-1, 2012, pp 203-213.
- [41] D. Cabrera y otros, (2011) Establecimiento de Sistemas Agroforestales. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Primera edición. México. [Online]. Available: http://www.academia.edu/6286266/MANUAL_SISTEMAS_AGROFORESTALES_PDF?login=&email_was_taken=true
- [42] T. May, "Sistemas agroforestales de colonos como alternativas de uso ecológicamente sustentable en el oeste de Pará, Brasil. Adopción y propuestas para su desarrollo," *Ambiente y Desarrollo*. Vol. 17(32), 2013, pp 67-78.
- [43] B. Moran, A. Herrera, y K. López, "Evaluación socioeconómica y ambiental de tres tipos de sistemas agroforestales en el Trópico Seco Nigragüense," *Revista Científica de FAREM-Estelí*. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. No 11, año 3, 2014.
- [44] F. Ramos y otros, "Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de chile ancho (*Capsicum annuum* L.), y sobre las características químicas del suelo de la parcela experimental," *Revista Investigación y Ciencia*. 19(51), 2011, pp 3-9.
- [45] M. Sánchez y M. Viera. "Producción y utilización de abonos orgánicos para mejorar la composición de los suelos como estrategia para obtener rubros alimenticios de mejor calidad nutritiva," Universidad Politécnica Territorial de Alto Apure Pedro Camejo Núcleo Elorza, 2012.
- [46] D. Sánchez, "Estudio de factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos de Colombia." Proyecto de emprendimiento para optar por el título de Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Occidente, 2013.
- [47] Fundación Manejo Integrado del Medio Ambiente (MIMA). (2014). Experiencia en San José del Saco, Atlántico. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?t=469&v=aqu5yuPTsk>
- [48] A. Bohórquez, Y. Puentes y J. Menjivar. "Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar," *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas*. (1), 2014, pp 73-81.

- [49] NTC-5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. (2004-31-05).
- [50] L. Durán y C. Henríquez, "El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta de la planta," *Revista Agronomía Mesoamericana*. 21(1), 2009, pp 85-93.
- [51] I. Caro, Z. Romero y R. Lora, "Producción de abonos orgánicos con la utilización de Elodea (*Egeria densa*) presente en la laguna de Fúquene," *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 12(1), 2009, pp 91-100.
- [52] F. Colomer y otros, "Opción de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales," *Ingeniería*. Vol. 14 No.3, 2010, pp 177-190.
- [53] M. Valderrama, "Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR el Municipio de Chinavita (Boyacá)," Trabajo de investigación presentado como requisito para optar por el título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Colombia, 2013.
- [54] S. Builes, "Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e Industriales," Trabajo de monografía para optar por el Título de Tecnólogo Químico. Facultad de Tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira, 2010.
- [55] L. Ruesga, "Efecto de la aplicación de lodo durante el cultivo de cebollín (*Allium fistulosum* L.) en Barbacoas," Trabajo de grado para optar por el título de Magister Scientiarum en Ingeniería Ambiental. La Universidad del Zulia, Venezuela, 2010.
- [56] M. Vicencio, M. Pérez, E. Medina y M. Martínez, "Producción de composta y vermicomposta a partir de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. UNAM, Vol. 27, núm 3, 2011, pp 263-270.
- [57] J. Gilsanz, C. Leoni, F. Schelotto y A. Acuña, "Uso potencial de los lodos urbanos en la producción agrícola," *Agrociencia Uruguay*. Volumen 17:2, 2013, pp 1-10.
- [58] E. Robledo y otros, "Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos," *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 16(2), 2010, pp 241-251
- [59] M. García, "Rehabilitación de un suelo con bajo perfil de nutrientes aplicando biosólidos como fertilizante," Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México, 2011.
- [60] C. J. Beauchamp, H. Charest and A. Gosselin, "Examination of environmental quality of raw and composting de-inking paper sludge. *Chemosphere*," 46(6) 2002, pp 887-895.
- [61] K. Bellamy et al, "Paper Sludge Utilization in Agriculture and Container Nursery Culture" *J. Environ. Qual.* 24, 1995, pp 1074-1082.
- [62] A. García y C. Rivero, "Efecto de la aplicación de lodos papeleros sobre los contenidos de carbono microbiano y la actividad de deshidrogenasa en suelos agrícolas," *Revista Venesuelos*. 18, 2011, pp 29-35.
- [63] M. Rodríguez y otros, "Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo ferralítico rojo lixiviado en el sistema productivo Banao," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 23, No1, 2014, pp 56-59.
- [64] J. Montemayor y otros, "Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 1(2), 2010, pp 145-156.
- [65] M. Rodríguez y T. López, "Comportamiento de la zona radical activa del banano en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 23, No. 3, 2014, pp 5-10.
- [66] M. Lang y otros, "Ensayo comparativo de rendimiento de cinco cultivares bienales de zanahoria (*Daucus carota* L.) en la región semiárida pampeana, bajo riego por goteo," *Semiárida Revista de la Facultad de Agronomía UNL Pam* Vol. 24(1), 2014, pp 49-54.

EVALUANDO LA FACILIDAD DE APRENDIZAJE DE FRAMEWORKS MVC EN EL DESARROLLO DE APLICACIONES WEB

ASSESSING THE EASE OF LEARNING OF MVC FRAMEWORKS IN THE DEVELOPMENT OF WEB APPLICATIONS

¹Libardo Pantoja, ²César Pardo

*Departamento de Sistemas, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones,
Universidad del Cauca. Popayán, Colombia*

¹wpantoja@unicauca.edu.co

²cpardo@unicauca.edu.co

Recibido: 12/08/2015 • Aprobado: 15/11/2015

RESUMEN

Uno de los aspectos relevantes al momento de elegir un framework de desarrollo de software es determinar la curva de aprendizaje que requiere. En los proyectos de desarrollo de software, en general, los desarrolladores disponen de poco tiempo para entregar un producto estable y usualmente requieren de frameworks de desarrollo que tengan una curva de aprendizaje baja. Actualmente, existen diversos frameworks para soportar el desarrollo web; sin embargo, elegir el más adecuado puede ser una tarea compleja, debido a que los criterios de selección pueden ser diversos, poco claros e incluso inexistentes. En este sentido, en este artículo se lleva a cabo un análisis de diferentes frameworks de desarrollo MVC Web para determinar cuáles son los más convenientes basados en un criterio de selección, el cual tiene en cuenta el tiempo que requieren durante la curva de aprendizaje.

Palabras Claves: framework, MVC, desarrollo web, curva de aprendizaje.

ABSTRACT

One of the relevant aspects at the time of choosing a software development framework is to determine the learning curve required. In software development projects, in general, developers have little time to deliver a stable product and usually require development frameworks that have a low learning curve. Currently, there are different frameworks to support web development; however, choose the most appropriate can be a complex task, since the selection criteria can be diverse, unclear and even non-existent. In this sense, in this article is carried out an analysis of different frameworks of MVC Web development to determine which are most suitable, based on selection criteria, which takes into account the time required for the learning curve.

Keywords: framework, learning curve, MVC, web application development.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de aplicaciones de software es una labor que les exige a los equipos de desarrollo diferentes capacidades y conocimientos específicos a nivel de lenguajes de programación, entornos y/o plataformas, modelos de desarrollo, procesos, entre otros. Con relación al proceso, se debe considerar el tiempo y el esfuerzo que demanda tanto la obtención de requisitos, como las actividades relacionadas con el análisis, diseño, implementación y pruebas [1].

Para el caso de las aplicaciones web, el proceso de desarrollo es más complejo porque se deben considerar las características particulares que las diferencian de las aplicaciones de escritorio. Organizándolas en tres dimensiones, es posible nombrar las relacionadas con el producto, uso y desarrollo. Algunas de estas características según [2], son: la naturaleza no lineal del hipertexto. Si no se tienen en cuenta patrones de interacción adecuados, la interfaz web puede desorientar al usuario y generar sobrecarga cognitiva; presentan contenido (por medio de texto, tablas, imágenes y video) que debe permanecer actualizado; la presentación del contenido debe tener un diseño estético, lo cual exige un buen uso de HTML, hojas de estilo en cascada y habilidades desde el *front-end*; requieren un despliegue multiplataforma; la globalidad y amplia disponibilidad generan requisitos no funcionales de seguridad y desempeño difíciles de tratar y las aplicaciones web se deben adaptar a los cambios continuos de tecnologías y estándares.

Las características mencionadas anteriormente son la razón por la cual diversos conceptos, métodos, técnicas y herramientas de las aplicaciones tradicionales han tenido que ser adaptadas a las aplicaciones web, por lo que se habla de un área multidisciplinar llamada: *Ingeniería Web* [2]. Además, toda esta situación conlleva a que desarrollar una aplicación web requiera más trabajo que una aplicación tradicional.

A pesar de la complejidad de las aplicaciones web, estudios empíricos muestran que los tiempos de desarrollo de las mismas son extremadamente cortos; por lo general, no duran más de seis meses y, en promedio, es menor a tres meses [3][4]. Por ello, si se usan procesos iterativos, las iteraciones son igualmente cortas (de días o semanas). Por lo tanto, elegir un *framework* que facilite el desarrollo de la aplicación web, puede ser un elemento determinante de éxito o fracaso.

Las ventajas de usar un *framework* a la hora de realizar un proyecto son diversas, entre otras, se disminuye el tiempo de creación de las aplicaciones, facilita el mantenimiento del código y hace uso de patrones. El patrón más utilizado por casi todos los *frameworks* es el conocido como Modelo Vista Controlador (MVC).

El patrón MVC puede implementarse sin la necesidad de utilizar un *framework*; no obstante, y a diferencia de aplicarlo de forma manual, el *framework* obliga al desarrollador a utilizarlo, creando de esta forma un código mucho más robusto [5]. De esta manera, se evita el “código spaghetti”, el cual se caracteriza por agregar funcionalidades en capas que no corresponden [6][7][8], lo que incide negativamente sobre el código fuente y el cumplimiento de las características de calidad del producto en relación con la mantenibilidad, especialmente sobre algunas de sus sub-características como: analizabilidad, modificabilidad y testeabilidad [9].

Como ya se ha explicado, el uso de *frameworks* de desarrollo trae grandes beneficios; además, existe un gran número de *frameworks* que pueden utilizarse. El abanico de opciones es tan grande que en ocasiones es bastante complejo decidir cuál es el más adecuado de acuerdo con el tipo de proyecto o producto que se desea desarrollar. Elegir un *framework* de desarrollo de software no es una tarea sencilla. Se deben considerar diferentes variables. Entre estas, la más importante, es el lenguaje de

programación por utilizar, pues a partir de este, es posible tener en cuenta otras variables como: características del proyecto, conocimientos previos del equipo en el uso de la tecnología, existencia de proyectos que hayan sido desarrollados con el *framework* por elegir, nivel de madurez del *framework*, soporte, curva de aprendizaje, tipo de licencia (libre o de pago), entre otras [5].

Entre las variables mencionadas, la curva de aprendizaje resulta una de las más importantes, en especial, porque la gran mayoría de desarrolladores pueden desistir del uso de un *framework* cuando esta no es lo suficientemente corta para el desarrollo de sus proyectos [5]. La facilidad de aprendizaje de un *framework* puede incidir positivamente o negativamente sobre otras variables relacionadas con el tiempo, esfuerzo y dinero, variables cruciales para la entrega temprana y oportuna de los proyectos. En este sentido, y dada la importancia del nivel de complejidad en el aprendizaje de los *frameworks* de desarrollo, se presentan en este artículo los resultados obtenidos al llevar a cabo un experimento empírico que permitió evaluar en total 20, teniendo en cuenta el patrón de diseño

MVC. La pregunta de investigación que intenta resolver este estudio de caso es: *¿qué frameworks de desarrollo web MVC son los más convenientes teniendo en cuenta la variable del tiempo o curva de aprendizaje como criterio para su selección?*

Además de la presente introducción, este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta los trabajos relacionados a través de un análisis del estado del arte; la sección 3 presenta la metodología de investigación utilizada; en la sección 4 se muestra de forma detallada el estudio de caso llevado a cabo para evaluar el tiempo de aprendizaje en diferentes *frameworks* de desarrollo con relación al patrón de diseño MVC y, finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Después de llevar a cabo un análisis detallado del estado del arte, ha sido posible identificar algunos trabajos en los que se comparan diferentes *frameworks*. La tabla 1 describe de forma resumida algunos de estos:

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE TRABAJOS RELACIONADOS

NO.	FRAMEWORKS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	REF.
1	HTML5, CSS y JavaScript	Se lleva a cabo una comparación de las características, ventajas, desventajas y limitaciones para los desarrolladores que tienen los <i>frameworks</i> analizados. Este trabajo permite a los desarrolladores facilitar la elección de una herramienta de trabajo que cumpla con los requerimientos del cliente y que optimice el trabajo de construcción de la aplicación web. Este trabajo se diferencia del proyecto planteado, en que no analiza <i>frameworks</i> de desarrollo MVC, sino <i>frameworks</i> que facilitan la escritura del código <i>front-end</i> .	[10]
2	Tapestry y Wicket	Se plantea un estudio comparativo para el desarrollo de aplicaciones web. Es un caso práctico del Instituto Particular San Gabriel de la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo (Ecuador). Se desarrollaron dos prototipos en cada uno de estos <i>frameworks</i> de estudio y se estableció una comparación entre estos. Este proyecto tiene en común que compara la curva de aprendizaje y la productividad, pero se diferencia, en que únicamente contrasta dos <i>frameworks</i> de desarrollo.	[11]
3	Frameworks MVC de Java	Se analizaron <i>frameworks</i> MVC de java para el desarrollo de aplicaciones web empresariales. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el método científico y el método descriptivo. Se escogieron parámetros como: producto, rendimiento, desarrollo, patrón de diseño, seguridad, cada uno con sus respectivas variables y gráficos estadísticos. Se diferencia del proyecto planteado, en que no analiza la facilidad de aprendizaje, sino que aborda otros parámetros. Además, se centra en <i>frameworks</i> de java.	[12]

NO.	FRAMEWORKS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	REF.
4	<i>Spring MVC, Struts2, JSF, Tapestry y Cocoon</i>	Se llevó a cabo un análisis mediante una encuesta en una página web dirigida a desarrolladores web. Con dicho análisis previo se buscó obtener los dos mejores <i>frameworks</i> que reflejen facilidad y suficientes características para uso efectivo, para luego terminar con un análisis más profundo entre <i>Spring MVC</i> y <i>Struts 2</i> con los parámetros de manejo del Patrón MVC, otras características y, lo más importante, tiempo de desarrollo, que ayudó a la comprobación de la hipótesis. Observándose que <i>Spring MVC</i> obtuvo una calificación del 90% y <i>Struts2</i> 78.75%, se determinó que <i>Spring MVC</i> es el más adecuado para reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones Web. Nuevamente, se diferencia del proyecto planteado porque solo compara dos <i>frameworks</i> de Java.	[13]
5	<i>Frameworks de PHP: Kumbia, Cake y Seagull</i>	En este estudio de los <i>frameworks</i> de PHP, el resultado cuantitativo obtenido mediante la comparación de parámetros como, acceso a datos, seguridad, ajax, <i>skins</i> /temas y <i>plug-ins</i> para evaluar la eficiencia en el desarrollo fue: 68,40%(Regular) para <i>Kumbia</i> ; 56,90%(Regular) para <i>Cake</i> ; y 86,50%(Muy Bueno) para <i>Seagull</i> . Se concluye que el <i>framework</i> apropiado para trabajar es <i>Seagull</i> junto al <i>IDE Zend Studio</i> . La investigación se basó en el Método Científico General. Este proyecto tiene en cuenta varios aspectos y no se centra en la facilidad de aprendizaje.	[14]
6	Análisis de <i>Python</i> en <i>Django</i> y <i>Ruby on Rails</i>	Realiza el análisis de dos de las tecnologías de <i>framework</i> de software libre más populares en el mercado, con el propósito de determinar qué <i>framework</i> permite mejorar la productividad de desarrollo ágil de aplicaciones web. El análisis comparativo se basó en el Método Científico General, con base en el cual se efectuó la investigación. Ambas tecnologías fueron adaptadas a los mismos ambientes de desarrollo y pruebas, con técnicas de observación directa, de laboratorio y experimento. Los resultados cuantitativos que se obtuvieron mediante la comparación de parámetros como: patrón MVC, reutilización, seguridad de aplicación, madurez de producto e instalación, permitieron evaluar la productividad de desarrollo, cuyo resultado fue: <i>Django</i> 91,82% (Muy Bueno) y <i>Ruby on Rails</i> con 84,61% (Muy Bueno).	[15]

Por otro lado, en la web también se encuentra información acerca del *ranking* de algunos *frameworks* de desarrollo Web. Por ejemplo, en www.catswhocode.com es posible observar la clasificación de algunos *frameworks* por nombre y un resumen de sus principales características. Sin embargo, no se describe la manera como se obtuvo dicha clasificación, razón por la cual, este tipo de información no es muy confiable.

III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con [16], existen diversos tipos de metodologías de la investigación para la ingeniería de software, tales como: encuestas [17], experimentos controlados, quasi-experimentos, investigación-acción [17] y estudios de caso [18]. Por las características del trabajo realizado, se llevó a cabo un estudio de caso y la aplicación de encuestas, cuyo objetivo principal fue el de determinar qué *frameworks* son los más convenientes teniendo en cuenta, como criterio para su selección, la variable del tiempo o

curva de aprendizaje de los individuos. Por las características de las encuestas, el estudio que se realizó es cuantitativo dado que se pudo obtener la opinión y el nivel de satisfacción de los individuos encuestados por medio de diferentes alternativas.

Teniendo en cuenta los dos enfoques de investigación elegidos, se establecieron, para su aplicación, un conjunto de actividades por seguir:

- Formulación de la pregunta de investigación.
- Descripción del estudio de caso.
- Diseño de la actividad académica.
- Unidades de análisis.
- Procedimiento de campo y la recolección de información.
- Ejecución de la actividad académica.
- Intervención en el estudio de caso: aplicación de una encuesta.
- Análisis de los resultados.
- Plan de validación y limitaciones del estudio de caso.

IV. ESTUDIO DE CASO

En esta sección se describe la experiencia obtenida durante el estudio de caso llevado a cabo para evaluar la facilidad de aprendizaje de los *frameworks* MVC más populares en el mercado.

A. Formulación de la pregunta de investigación

Para formular la pregunta de investigación se hizo una revisión bibliográfica buscando proyectos relacionados con *frameworks* MVC. Finalmente, después de revisar varios proyectos, y acorde con los objetivos de la asignatura, se decidió plantear la siguiente pregunta:

¿Qué *frameworks* MVC para desarrollo web existentes son los más convenientes bajo el criterio del tiempo o curva de aprendizaje?

B. Descripción del estudio de caso

La experiencia se llevó a cabo en un curso de Ingeniería Web con 33 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistema de VII semestre de la Universidad del Cauca, durante el segundo semestre de 2014.

La asignatura de Ingeniería Web hace parte del plan de estudios del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad. En ella se estudian conceptos, métodos, técnicas y herramientas para medir el costo efectivo del análisis, diseño, implementación, pruebas, operación y mantenimiento de aplicaciones Web de alta calidad. En este curso, los estudiantes ya cuentan con bases sólidas de construcción de software dado que, como pre-requisito, han cursado cursos de programación, bases de datos, sistemas operativos, estructuras de datos y cursos de ingeniería de software, entre otros.

Teniendo en cuenta las características mencionadas, en el marco de esta asignatura se abrió un espacio investigativo para analizar la facilidad de aprendizaje de varios *frameworks* de desarrollo MVC.

C. Diseño de la actividad académica

Uno de los objetivos de la asignatura de Ingeniería

Web es trabajar un proyecto final en equipos de 4 o 5 personas. Para esto, cada equipo debe elegir un *framework* MVC para su proyecto. El docente en la primera semana de clase asigna una primera actividad exploratoria, en la cual se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

Cada estudiante debe estudiar un *Framework* MVC y elaborar un tutorial de aprendizaje del mismo (instalación, configuración, algunos aspectos generales), en el que, además, se guíe al usuario, paso a paso, para que construya una sencilla aplicación que implemente un sencillo CRUD (Crear, Leer, Actualizar y Borrar del original en inglés: *Create, Read, Update and Delete*) de las siguientes tablas:

- **Empleado:** código, nombres, fecha de nacimiento, código del departamento donde labora, salario.
- **Departamento:** código, nombre del departamento. Los entregables son:
- Prototipo funcional del CRUD empleados.
- Tutorial paso a paso de instalación y creación del CRUD. Debe tener portada, introducción, tutorial, conclusiones o lecciones aprendidas y referencias.
- Breve socialización (10 minutos), en la que se muestre la aplicación y una breve explicación general de la guía.

Para ejecutar esta actividad exploratoria, los estudiantes contaron con 5 semanas, con una disponibilidad de 5 horas semanales. Es la misma actividad para todos, pero cada estudiante trabaja con un *framework* diferente.

Para elegir el *framework*, se creó un foro en una plataforma virtual, y cada estudiante eligió el suyo. Los estudiantes exploraron en internet qué *frameworks* existen, sus características, ventajas, desventajas, y una vez elegido, reportaron su elección en el foro. Un *framework* ya elegido no puede ser estudiado por otro estudiante Fig. 1.



Fig. 1 Foro para elegir el framework por estudiar

Los *frameworks* estudiados, con sus versiones, se aprecian en la Tabla 2.

TABLA II
FRAMEWORKS MVC SELECCIONADOS

NO.	FRAMEWORKS	LENGUAJE	VERSIÓN
1	Asp.NetMVC	C#	3
2	Cake	PHP	2.4.5
3	CodeIgniter	PHP	2.2.0
4	Grails	Java	2.4.2
5	JSF	Java	2.0
6	Kohana	PHP	3.3.2
7	Kumbia	PHP	1.0
8	Laravel	PHP	4.1
9	Nette	PHP	2.2.3
10	Phalcon	PHP	1.3.2
11	Pyramid	Python	1.4.6
12	RubyOnRails	Ruby	4.1.6
13	Sails.js	JavaScript	0.10
14	Slim	PHP	2.3.0
15	Spring	Java	3.6.1
16	Symfony2	PHP	2.5.5
17	Tapestry	Java	5.3.7
18	Web2Py	Python	2.9.10
19	Yii	PHP	1.1.15
20	Zan	PHP	2.6.6
21	Zend	PHP	2.3.3

D. Unidades de análisis

Las unidades de análisis en este estudio de caso son los *frameworks* MVC más populares en el mercado (Tabla 2). Estos fueron evaluados con relación a factores como el esfuerzo de aprendizaje, productividad y tamaño (referente a la cantidad de líneas de código producidas).

E. Procedimiento de campo y la recolección de información

El procedimiento de campo y la recolección de la información en el estudio de caso, se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas.

F. Ejecución de la actividad académica

Una vez elegido el *framework*, los estudiantes comenzaron el proceso de aprendizaje, valiéndose de la documentación oficial, videos, blogs, foros, etc. De antemano, se les solicitó que llevaran el control de las horas que le dedicarían a esta actividad. Al final, los estudiantes debían entregar el manual solicitado, el prototipo funcional y la socialización de 10 minutos.

G. Intervención en el estudio de caso: aplicación de las encuestas

Para medir el tiempo de aprendizaje de cada *framework*, se diseñó y aplicó una encuesta a cada estudiante. La encuesta fue el instrumento principal de recolección de información y su finalidad era tomar los datos relacionados con la facilidad de aprendizaje de cada *framework*.

La encuesta estuvo conformada de varias partes (encuestas):

- Primera parte: datos básicos del estudiante y datos genéricos del *framework* Fig. 2.

Encuesta

La presente encuesta tiene como finalidad estudiar las características relacionadas con la facilidad de aprendizaje de los frameworks MVC para desarrollo web. Gracias por sus aportes.

Nombres y Apellidos:	
Fecha de la encuesta (dd-mm-aaa):	
Framework MVC:	
Lenguaje de Programación (php, java, python)	
Versión del framework	
Fecha de liberación de esta versión (dd-mm-aaa)	
Sobre qué sistema operativo trabajó (Window 7, 8, Ubuntu, etc)	
Documentación en español? Si/No	
Sitio web del Framework:	
Resumen del framework: (Máximo cinco líneas)	

Fig. 2 Encuesta - Datos básicos del estudiante y del framework

- Segunda parte: las preguntas de la 1 hasta la 6, y tiene por finalidad recolectar tiempos, tamaños y logros alcanzados Fig. 3.

- ¿Aproximadamente cuántas horas de estudio le dedicó al framework (instalación, configuración, hacer correr los ejemplos básicos)? _____
- ¿Aproximadamente cuántas horas le dedicó a la creación del CRUD de empleados/departamentos? _____
- ¿Aproximadamente cuántas horas le dedicó a la creación de la guía? _____
- ¿Es el primer framework que aprende? Si ____ No ____
- ¿Qué dificultades considerables tuvo con el aprendizaje del framework y cómo las solucionó? Describa brevemente cada una (puede aumentar las filas que requiera):

- De las funcionalidades del CRUD empleados evalúe el % de logro (0 a 100):
 - Agregar empleados (incluido el combo departamentos y validaciones): ____ %
 - Modificar empleados (incluido el combo departamentos y validaciones): ____ %
 - Eliminar empleados (incluida la confirmación): ____ %
 - Buscar empleados: ____ %
 - Paginación: ____ %
 - Plantilla HTML y CSS personalizada: ____ %
- ¿Cuántas líneas de código fuente produjo su aplicación (únicamente modelos y controladores)?
Modelos: _____
Controladores: _____
Nota: Por favor, no contar comentarios, espacios ni llaves. Por ejemplo, para el siguiente código, se contarían 4 líneas de código fuente (las que aparecen en negrita):

Fig. 3 Encuesta - Datos de tiempos, tamaños y logros alcanzados

- Tercera parte: hace una valoración de las características más relevantes del *framework* en una escala de Excelente, Bueno, Neutro, Regular y Deficiente Fig. 4.

7. ¿Evalúe las siguientes características de su framework (Marque con una X)?

	Excelente	Bueno	Neutro	Regular	Deficiente
Facilidad de aprendizaje					
Documentación					
Instalación					
Legibilidad del código fuente					
Herramientas de generación de código					
Ejemplos que vienen en la documentación					
Comunidad de soporte					
Herramientas de depuración					
Facilidad del uso del patrón MVC					

Fig. 4 Encuesta - Evaluando las características del framework

- Cuarta parte: en las preguntas 8 y 9 se evalúa de manera cuantitativa y general el *framework*, y las preguntas 10 y 11 tienen por finalidad evaluar las habilidades de aprendizaje del estudiante Fig. 5.

8. Recomienda el uso de este framework, Si ___ No ___ ¿Por qué?

9. Globalmente en una escala entre 1 y 100, ¿Cómo evalúa el framework? _____

10. ¿Cómo considera que es su habilidad para aprender nuevas tecnologías en software (lenguajes de programación, entornos de desarrollo, plataformas) (Marque con una X)?

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja

11. ¿Qué nivel de disciplina tiene Usted a la hora de aprender nuevas tecnologías en software (lenguajes de programación, entornos de desarrollo, plataformas) (Marque con una X)?

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja

Fig. 5 Encuesta - Habilidades del estudiante

Las encuestas fueron enviadas a cada estudiante y posteriormente recolectadas mediante correo electrónico.

H. Análisis de resultados

Una vez aplicadas las encuestas, se procesaron los datos, lo cual se llevó a cabo teniendo en cuenta que agrupando varios conjuntos de preguntas se podrían analizar diversos aspectos. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

1) Análisis de esfuerzo: las preguntas 1, 2, 12, 13 y 14 dan un indicio del esfuerzo dedicado al aprendizaje del *framework*, lo cual involucra estudiar la documentación del mismo y realizar una aplicación:

P1: ¿Aproximadamente cuántas horas de estudio le dedicó al *framework* (instalación, configuración, compilar correctamente los ejemplos básicos)?

P2: ¿Aproximadamente cuántas horas le dedicó a la creación del CRUD de empleados/departamentos?

P11: ¿Cómo considera que es su habilidad para aprender nuevas tecnologías en software (lenguajes de programación, entornos de desarrollo, plataformas)?

P12: ¿Qué nivel de disciplina tiene usted a la hora de aprender nuevas tecnologías en software (lenguajes de programación, entornos de desarrollo, plataformas)?

P13: ¿Cómo es su habilidad para leer documentación en inglés?

Los resultados de estas preguntas se muestran en la Tabla 3.

TABLA III
EVALUACIÓN DEL ESFUERZO: HORAS DE ESTUDIO

NO.	FRAMEWORK	P1	P2	TOTH	P11	P12	P13
1	<i>Symfony2</i>	3	2	5	Alta	Media	Media
2	<i>Spring</i>	3	4	7	Alta	Alta	Media
3	<i>Phalcon</i>	4	4	8	Muy Alta	Muy Alta	Alta
4	<i>JSF</i>	8	2	10	Alta	Alta	Alta
5	<i>Cake</i>	8	3	11	Alta	Media	Baja
6	<i>Grails</i>	12	1	13	Alta	Alta	Alta
7	<i>Web2Py</i>	5	10	15	Media	Alta	Muy Alta
8	<i>Zend</i>	12	3	15	Alta	Media	Media
9	<i>Yii</i>	12	4	16	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
10	<i>CodeIgniter</i>	7	12	19	Alta	Alta	Baja
11	<i>Asp.NetMVC</i>	8	12	20	Alta	Alta	Baja
12	<i>Pyramid</i>	13	7	20	Alta	Alta	Baja
13	<i>RubyOnRails</i>	20	2	22	Alta	Media	Baja
14	<i>Kumbia</i>	8	15	23	Alta	Alta	Baja
15	<i>Nette</i>	21	15	36	Alta	Media	Muy Baja
16	<i>Laravel</i>	24	16	40	Alta	Alta	Alta
17	<i>Kohana</i>	15	25	40	Alta	Alta	Media
18	<i>Zan</i>	24	20	44	Alta	Alta	Media
19	<i>Tapestry</i>	50	20	70	Media	Alta	Media
20	<i>Slim</i>	72	28	100	Alta	Alta	Media

Según la Tabla 3, los cinco *frameworks* que tienen menor tiempo de aprendizaje son: *Symfony2*, *Spring*, *Falcon*, *JSF* y *Cake*. Sin embargo, se debe considerar las habilidades del estudiante, pues un estudiante con una capacidad muy alta de aprendizaje en tecnologías, puede emplear mucho menos tiempo que otro con una capacidad menor. Las preguntas P11,

P12 y P13 permiten detectar dichas habilidades. Por otro lado, se puede apreciar que *Tapestry* y *Slim* son los que tienen mayor tiempo de aprendizaje.

2) Productividad: la pregunta 6 indaga qué tan productivo es el uso del *framework* en la implementación de una aplicación web:

De las funcionalidades del CRUD empleado evalúe el porcentaje (%) de logro (0 a 100).

- a) Agregar empleados (incluido los combos departamentos y validaciones).
- b) Modificar empleados (incluido los combos departamentos y validaciones).
- c) Eliminar empleados (incluida la confirmación).
- d) Buscar empleados.
- e) Paginación.

La Tabla 4 muestra los *frameworks* ordenados por productividad, así como, las preguntas 11, 12 y 13 muestran las habilidades del estudiante. Se puede apreciar que los *frameworks* Yii, Web2Py, Asp.NetMVC y Kumbia tuvieron una productividad del 100% (se implementaron todas las funcionalidades requeridas). En segundo lugar, están los *frameworks* Laravel, Zend, y Cake que permitieron implementar el 92% de las funcionalidades.

TABLA IV
EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

NO.	FRAMEWORK	P6	P11	P12	P13
1	Yii	100 %	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
2	Web2Py	100 %	Media	Alta	Muy Alta
3	Asp.NetMVC	100 %	Alta	Alta	Baja
4	Kumbia	100 %	Alta	Alta	Baja
5	Laravel	92 %	Alta	Alta	Alta
6	Zend	92 %	Alta	Media	Media
7	Cake	92 %	Alta	Media	Baja
8	Phalcon	88 %	Muy Alta	Muy Alta	Alta
9	Sails.js	82 %	Muy Alta	Alta	Media
10	Grails	80 %	Alta	Alta	Alta
11	Symfony2	80 %	Alta	Media	Media
12	Nette	76 %	Alta	Media	Muy Baja
13	Pyramid	76 %	Alta	Alta	Baja
14	Kohana	74 %	Alta	Alta	Media
15	JSF	68 %	Alta	Alta	Alta
16	Tapestry	68 %	Media	Alta	Media
17	RubyOnRails	68 %	Alta	Media	Baja
18	Zan	60 %	Alta	Alta	Media
19	Spring	57 %	Alta	Alta	Media
20	CodeIgniter	54 %	Alta	Alta	Baja
21	Slim	50 %	Alta	Alta	Media

3) Tamaño: la pregunta 7 indaga el tamaño de la aplicación. Se podría suponer que entre menos líneas de código requiere el *framework* es más fácil

de aprender. La Tabla 5 muestra los *frameworks* ordenados por tamaño.

TABLA V
 EVALUACIÓN DEL TAMAÑO

NO.	FRAMEWORK	P6:PRODUCTIVIDAD	P7:TAMAÑO
1	Zan	60 %	19
2	Grails	80 %	40
3	Kohana	74 %	49
4	Sails.js	82 %	54
5	Slim	50 %	88
6	Kumbia	100 %	92
7	Nette	76 %	100
8	Symfony2	80 %	100
9	Laravel	92 %	102
10	RubyOnRails	68 %	107
11	CodeIgniter	54 %	116
12	Cake	92 %	135
13	Pyramid	76 %	138
14	Asp.NetMVC	100 %	149
15	Yii	100 %	183
16	Spring	57 %	223
17	Zend	92 %	250
18	Phalcon	88 %	263
19	JSF	68 %	688
20	Web2Py	100 %	852
21	Tapestry	68 %	

Según la Tabla 5, los cinco *frameworks* con menor tamaño en líneas de código son: *Zan*, *Grails*, *Kohana*, *Sails.js*, y *Slim*. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no todos los *frameworks* alcanzaron la misma productividad (% de implementación de todas las funcionalidades). Por lo tanto, tomando únicamente los que alcanzaron el 100 % de la implementación de las funcionalidades, se observa que los mejores serían Kumbia, ASP.NET MVC y Yii, los cuales produjeron un tamaño relativamente igual (entre 92 y 182 líneas de código). Además, se puede apreciar que el *framework* que mayor

número de líneas de código produjo (a pesar que solo implementó el 68 % de las funcionalidades), es Tapestry con 1800.

4) Valoración general: la pregunta 10, Globalmente en una escala entre 1 y 100, *¿cómo evalúa el framework?*, es interesante pues permite tener un concepto global de la experiencia entre el estudiante y el *framework*. La Tabla 6 muestra los *frameworks* ordenados según este criterio. Se puede apreciar que los mejores *frameworks*, con una valoración de 100 puntos, son: Yii, Web2Py y Asp.NetMVC. Luego siguen con valores igualmente altos (entre 90 y 95 puntos): JSF, Kumbia, RubyOnRails, Zan, CodeIgniter y Symfony2.

 TABLA VI
 EVALUACIÓN GLOBAL

NO.	FRAMEWORK	P10
1	Yii	100 %
2	Web2Py	100 %
3	Asp.NetMVC	100 %
4	JSF	95 %
5	Kumbia	93 %
6	RubyOnRails	90 %
7	Zan	90 %
8	CodeIgniter	90 %
9	Symfony2	90 %
10	Phalcon	85 %
11	Cake	81 %
12	Laravel	80 %
13	Grails	80 %
14	Spring	80 %
15	Kohana	80 %
16	Pyramid	75 %
17	Zend	70 %
18	Sails.js	70 %
19	Slim	60 %
20	Tapestry	60 %
21	Nette	60 %

5) Características generales: la pregunta 8 evalúa características generales de los *frameworks*: facilidad de aprendizaje (APREN), documentación (DOC), instalación (INST), legibilidad del código fuente (LEGI), herramientas de generación de código (HERRAM), ejemplos que vienen en la documentación (EJEM), comunidad de soporte (COMUN), herramientas de depuración (DEBUG), facilidad del uso del patrón MVC.

Cada criterio se valora en una escala de: Excelente, Bueno, Neutro, Regular y Deficiente. Se ha

valorado el conjunto de estas características dando un valor de Excelente=4, Bueno=3, Neutro=2, Regular=1 y Deficiente=0, sacando en una columna la sumatoria respectiva (TOT). En la Tabla 7 se presentan los resultados.

Según los datos de la Tabla 7, los cinco mejores *frameworks* (sobre 30 puntos) son: *Web2Py*, *Cake*, *Asp.NetMVC*, *JSF* y *Symfony2*. Sin embargo, con valores cercanos a 30 puntos, están los *frameworks*: *Kumbia*, *Yii* y *Kohana*.

TABLA VII
EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES

FRAMEWORK	APREN	DOC	INST	LEGI	HERRAM	EJEM	COMUN	DEBUG	MVC	TOT
Web2Py	Excelente	Excelente	Excelente	Neutro	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente	32
Cake	Bueno	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	31
Asp.NetMVC	Excelente	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	30
JSF	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno	30
Symfony2	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	30
Kumbia	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Deficiente	Excelente	Excelente	Neutro	Excelente	29
Yii	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno	Excelente	Excelente	Bueno	Regular	Neutro	28
Kohana	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Neutro	Neutro	Bueno	Excelente	Excelente	27
Phalcon	Excelente	Bueno	Bueno	Excelente	Excelente	Bueno	Neutro	Deficiente	Excelente	26
Grails	Regular	Excelente	Neutro	Bueno	Excelente	Excelente	Neutro	Bueno	Excelente	25
RubyOnRails	Bueno	Bueno	Neutro	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno	Neutro	Bueno	24
Zan	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno	Neutro	Neutro	Bueno	Neutro	Bueno	24
Nette	Bueno	Neutro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Neutro	23
Pyramid	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Neutro	Bueno	Bueno	Neutro	Neutro	22
Laravel	Bueno	Bueno	Neutro	Bueno	Regular	Regular	Excelente	Neutro	Excelente	21
CodeIgniter	Bueno	Neutro	Bueno	Bueno	Neutro	Neutro	Neutro	Bueno	Excelente	20
Zend	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Neutro	Regular	Neutro	Bueno	19
Spring	Bueno	Deficiente	Excelente	Bueno	Neutro	Regular	Neutro	Neutro	Bueno	17
Tapestry	Neutro	Neutro	Deficiente	Neutro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Neutro	16
Sails.js	Neutro	Neutro	Bueno	Bueno	Neutro	Regular	Neutro	Bueno	Neutro	15
Slim	Bueno	Neutro	Bueno	Bueno	Deficiente	Bueno	Regular	Deficiente	Deficiente	14

1. Plan de validación y limitaciones del estudio de caso

Con el objetivo de hacer frente a posibles amenazas y permitir un plan de validación lo mejor posible, se han considerado varios factores:

- El diseño del estudio de caso y el plan de recolección de los datos fueron comparados con la lista de chequeo para estudios de caso en la ingeniería de software propuesto por [19].
- Por lo que respecta a la validez del constructo, se utilizaron múltiples fuentes de evidencia, incluyendo encuestas, la observación del participante y archivos de documentación. La evidencia se obtuvo de las actividades realizadas, por lo que cada uno de los participantes desempeñó las funciones específicas que se les asignó.
- En cuanto a la validez interna, ha sido posible determinar que la aplicación de las encuestas en el estudio de casos ha permitido satisfacer las necesidades identificadas. También se han tenido en cuenta los beneficios reportados por el estudio de caso.

Para la validez externa, el estudio de caso fue apoyado por un asesor. Las observaciones y lecciones aprendidas fueron recogidas con el objetivo de perfeccionar el protocolo y procedimiento de campo, con el fin de ser capaces de realizar una replicación en estudios de casos futuros.

Las limitaciones consideradas en el estudio de caso fueron:

- Dado que la población fue muy pequeña, no es una muestra representativa y de alguna manera afecta el poder generalizar los resultados. Por lo tanto, se hace necesario replicar el estudio de caso en un número de estudios de casos más grande que permita asegurar un análisis adecuado y subsecuentemente llevar a cabo la generalización de los resultados.

- El sesgo en el estudio de caso con relación a la falta de conocimientos en el uso de los *frameworks* analizados y la realización de las actividades, se pudo ver afectado por la observación y monitoreo continuo. La observación de los participantes puede resultar ventajosa cuando se trata de obtener cierta información que sería imposible de conseguir de otra manera. Sin embargo, el principal problema con esto, es la posibilidad de sesgo producido.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En la actualidad, los proyectos de desarrollo Web tienen ciclos de desarrollo muy cortos; por esta razón, elegir un *framework* MVC que tenga un tiempo de aprendizaje bajo, es uno de los factores claves para abordar con éxito un proyecto. Elegir un *framework* MVC con baja curva de aprendizaje no es una tarea tan simple, debido a la cantidad de *frameworks* disponibles en la Web y a la cantidad de experiencias reportadas de manera informal por programadores que pueden dificultar dicha elección.

A lo largo de este artículo, se ha planteado una experiencia académica para probar distintos *frameworks* y determinar cuáles son los de menor tiempo de aprendizaje. En dicha experiencia se han reportado varios resultados por medio de tablas en las que se clasifican los mejores, teniendo en cuenta el análisis de esfuerzo, productividad, tamaño y algunas características particulares. Con base en los resultados obtenidos, se hace una contribución a la industria de software facilitando algunos criterios y resultados concretos al momento de elegir un *framework* de desarrollo.

Por otro lado, se aporta a la comunidad científica una experiencia y metodología detallada práctica para probar *frameworks* de desarrollo, experiencia que abarca la formulación de la pregunta de investigación, la planificación de la experiencia, seguida

de su ejecución, recolección de datos y análisis de los mismos. La experiencia, además, aprovecha el talento humano valioso de los estudiantes y de las aulas de clase, evitando el uso de recursos económicos para su ejecución. Por otro lado, se puede concluir y demostrar que las aulas de clase son un buen medio y laboratorio para llevar a cabo experiencias y realizar aportes investigativos y académicos importantes.

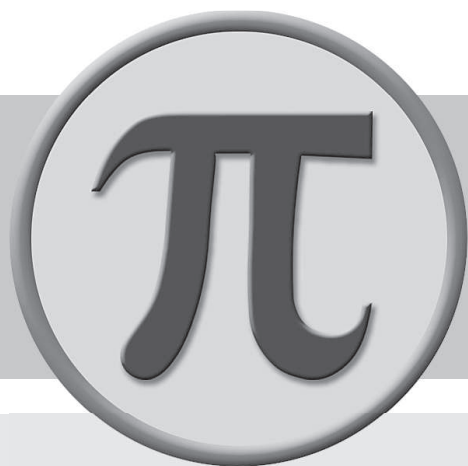
A futuro se puede llevar a cabo la misma experiencia con otros grupos de estudiantes, de tal forma, que se puedan contrastar los resultados obtenidos. La finalidad sería tener un listado de los *frameworks* MVC de desarrollo Web que involucren los más bajos tiempos de aprendizaje. Asimismo, sería conveniente extender la experiencia para probar atributos como la seguridad, el desempeño y la modificabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue elaborado gracias a la valiosa colaboración de los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas, pertenecientes al curso de Ingeniería de Software 3, 2014-II de la Universidad del Cauca. También se contó con el apoyo y asesoría del PhD. Julio A. Hurtado Alegría. Adicionalmente, los profesores Libardo Pantoja y César Pardo agradecen la contribución de la Universidad del Cauca, donde trabajan como profesor titular y profesor asistente, respectivamente.

REFERENCIAS

- [1] G. M. Villalobos, G. D. C. Sánchez, and D. A. B. Gutiérrez, "Diseño de framework web para el desarrollo dinámico de aplicaciones," *Scientia et Technica*, vol. 1, no. 44, pp. 178–183, 2010.
- [2] G. Kappel, B. Proll, S. Reich, and W. Retschitzegger, "Web Engineering: The Discipline of Systematic Development of Web Applications," Wiley, 2006.
- [3] McDonald and R. Welland, "A survey of web engineering in practice, department of computing sciencetechnical report r-2001-79," University of Glasgow, Scotland, 2001.
- [4] A. McDonald and R. Welland, "Web engineering in practice," *Proc. Of the 4th Workshop on Web Engineering (held in conjunction with the 10th international conference on WWW)*, Hong Kong, May 2001.
- [5] A. Technologies, "Framework para el desarrollo ágil de aplicaciones," tech. rep., Acens Technologies, 2014.
- [6] D. Riehle, "Framework design: A role modeling approach," *Softwaretechnik-Trends*, vol. 20, no. 4, 2000.
- [7] G. Krasner and S. Pope, "A description of the model-view-controller user interface paradigm in the smalltalk-80 system," *Journal of Object Oriented Programming*, vol. 1, no. 3, pp. 26–49, 1988.
- [8] J. S. C. Garrido, "Arquitectura y diseño de sistemas web modernos," *InforMAS, Revista de Ingeniería Informática del CIIRM*, no. 1, 2004.
- [9] ISO, "Systems and software engineering – systems and software quality requirements and evaluation (square) – system and software quality models:iso/iec 25010:2011," tech. rep., International Standards Organization, 2011.
- [10] A. M. Valbuena Aponte, "Guía comparativa de frameworks para los lenguajes HTML 5, CSS y Javascript para el desarrollo de aplicaciones web," 2014.
- [11] E. M. Jara Izurieta, "Estudio comparativo de los frameworks tapestry y wicket para el desarrollo de aplicaciones web. caso práctico: Instituto particular San Gabriel," 2014.
- [12] T. P. Aguirre Buenaño and A. I. Moncayo Alvarez, "Análisis de frameworks MVC de Java para el desarrollo de aplicaciones Web empresariales. caso práctico: Sistema de bienestar politécnico," 2013.
- [13] M. E. Morán Tapia, M. Saltos, and X. Fernanda, "Análisis de frameworks de presentación para el desarrollo de aplicaciones Web en Java, caso práctico: Gadpch," 2013.
- [14] X. L. Zabala Hidalgo and C. L. Ochoa Iglesias, "Estudio de frameworks para php e integración a una herramienta ide: Aplicado al portal web de la comunidad linux de la epoch," 2010.
- [15] P. D. Cumba Armijos and B. A. Barreno Pilco, "Análisis de Python con Django frente a Ruby on rails para desarrollo ágil de aplicaciones Web. caso práctico: Dech," 2013.
- [16] P. Runeson, and M. Höst, "Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering," *Empirical Software Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 131–164, 2009.
- [17] C. Robson, "Real World Research - A Resource for Social Scientists and Practitioner- Researchers," Blackwell Publishing, Malden, second edition, 2002.
- [18] R. K. Yin, "Case Study Research: Design and Methods," Sage Publications Ltd, Newbury Park. 2003.
- [19] M. Höst, and P. Runeson, "Checklists for software engineering case study research," In *Proceedings of the First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM'07)*, pp. 479–481, Madrid, Spain. IEEE Computer Society. 2007.



ROS-GAZEBO. UNA VALIOSA HERRAMIENTA DE VANGUARDIA PARA EL DESARROLLO DE LA ROBÓTICA

ROS-GAZEBO. A VALUABLE TOOL OF AVANT-EDGE FOR THE DEVELOPMENT OF ROBOTICS



Cristian Camilo Cuevas Castañeda

*Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Tunja, Colombia*

cccuevasc@unadvirtual.edu.co

Recibido: 10/08/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

El Sistema Operativo Robótico – ROS (de aquí en adelante ROS) representa un significativo avance en la tecnología robótica, ya que constituye un verdadero modelo colaborativo de desarrollo, abierto al público en general y con una gama de posibilidades aún por descubrir. ROS permite contar con estructuras ya diseñadas y programadas que luego se pueden modificar, evitando, de esta manera, comenzar de cero con cada diseño y superando la pérdida de tiempo inherente a la construcción de algoritmos de piezas comunes, como brazos y ruedas, entre otras. Tal plataforma se complementa con las herramientas de Rviz y Gazebo, que brindan simulaciones 3D del modelo robótico diseñado.

Palabras clave: algoritmos, código abierto, entorno de simulación, Linux, programación, ROS, sistema.

ABSTRACT

Robotic Operating System (ROS), represents a significant advance in robotics technology, since it constitutes a true collaborative model of development, open to the general public with a range of possibilities, yet to be discovered. ROS enables structures already designed and scheduled that you can then modify, avoiding in this way, to start from scratch with each design and overcoming the loss of time inherent in the construction of algorithms of common parts, as arms and wheels, among others. Such a platform is complemented with the tools of Rviz and Gazebo, that provide 3D simulations of the robotic model designed.

Key words: algorithms, linux, open source, programming, ROS system, simulation environment.



I. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se expone lo qué es ROS y su importancia, de cara a los avances de la robótica en el mundo. Se trata de un estudio descriptivo que se fundamenta en la revisión del material documental existente de tal sistema en el entorno web construido por su propio creador, así como en la bibliografía que se ha venido generando en años recientes para facilitar su comprensión por parte de la comunidad interesada en acercarse a tan apasionante rama del conocimiento. También se busca brindar al lector, una adecuada ilustración acerca de la forma en la que opera el Sistema, de sus ventajas y de las posibilidades que ofrece frente a los desafíos que en la actualidad plantea la robótica.

II. DESARROLLO DEL CONTENIDO

A. Antecedentes

Desde el año 2000, la Universidad de Stanford, mediante su Laboratorio de Inteligencia Artificial (SAIL, por sus siglas en inglés) [1], llevó a cabo grandes esfuerzos por desarrollar sistemas robóticos accesibles, sin restricciones; esto es, de código abierto y, así, posicionar modelos al alcance de la comunidad propiciando la generación de conocimiento de forma colaborativa en el campo de la robótica. Tales trabajos se hicieron a través de grupos de investigación creados al interior de la Universidad, como el “Stanford AI Robot (Stair)” y el “Personal Robots (PR) Program” [2]. Estos adelantos fueron retomados e impulsados finalmente por Willow Garage que es básicamente un laboratorio de investigación robótica ubicado en Menlo Park, California, en los Estados Unidos.

Willow Garage es una verdadera incubadora de empresas en este tema y, de forma visionaria, puso su atención en el camino ya adelantado por los programas académicos de la Universidad de Stanford e impulsó la aparición de ROS, en el año 2007. La filosofía de Willow Garage gira en torno a contar con

un excelente y motivado capital humano. Esto podría resumirse en las palabras de su primer CEO, Steve Cousins, en una entrevista :

“Mi trabajo consistía en llenar el edificio con gente interesante haciendo cosas interesantes alrededor de la tecnología autónoma” [3].

Así, se trataba de conseguir personas creativas y comprometidas, que amaran lo que hacían, con el objetivo de desarrollar investigación robótica.

En el año 2013, la administración de ROS fue transferida a la *Open Source Robotics Foundation* (OSRF), (Fundación para la programación robótica de Código Abierto), ubicada en la ciudad de San Francisco, Estados Unidos. La misión principal de esta institución y que resume su razón de ser y naturaleza, es la siguiente:

“... apoyar el desarrollo, la distribución y la adopción de software de código abierto para su uso en la investigación de la robótica, la educación y el desarrollo de productos” [4].

Como se puede observar, se trata de una importante iniciativa que busca universalizar el emprendimiento y la investigación de la programación en el ámbito robótico mundial. Tales esfuerzos de universalización han sido canalizados por la fundación precitada, hacia la construcción y perfeccionamiento de dos importantes herramientas, que constituyen el objeto del presente escrito.

En este orden de ideas, los dos principales proyectos supervisados por la OSRF son ROS y Gazebo, un avanzado simulador robot en tercera dimensión [5], aunque, como se verá más adelante, Gazebo tuvo un origen diferente. De tal suerte, que ROS y Gazebo fueron herramientas construidas de forma independiente por desarrolladores diferentes, que luego vinieron a resultar complementarias y administradas, finalmente, por la OSRF.

B. Definición de Ros y de Gazebo.

1) Ros: en primer lugar y con el propósito de ubicar al lector, vale la pena responder al interrogante obvio relativo a: ¿qué es ROS?

ROS es un sistema operativo de programación robótica que ha sido desarrollado en su totalidad para ser usado con el sistema operativo Ubuntu, con base en Linux y que de forma experimental (con algunas falencias y detalles por perfeccionar) funciona con IOS y Windows.

La descripción oficial del sistema nos la da el propio sitio web de ROS, y para guardar plena fidelidad con el autor, se transcribe en el idioma inglés, la definición del mismo:

“ROS es un sistema meta-operativo de código abierto para tu robot. Proporciona los servicios que esperarías de un sistema operativo, incluyendo abstracción de hardware, control de dispositivos de bajo nivel, la implementación de la funcionalidad de uso común, de paso de mensajes entre procesos, y la gestión de paquetes. También proporciona herramientas y bibliotecas para la obtención, la construcción, la escritura y la ejecución de código en varios equipos” [6].

A partir de lo anterior, es posible desglosar un poco la definición expuesta por el desarrollador, con miras a obtener una mayor comprensión de la misma. El sistema meta - operativo hace referencia a que permite manejar, a través de suscripciones a nodos, diferentes tipos de componentes de hardware [7]. El código abierto indica que se trata de un programa o sistema al que se puede acceder para su descarga de forma gratuita. El control de dispositivos de bajo nivel hace referencia a que existe un lazo directo de programación entre el software y la máquina o robot de que se trate; esto es, hace referencia a la vía de comunicación, mas no a su complejidad. Por su parte, la funcionalidad de uso común, el paso de mensajes entre procesos y la gestión de paquetes tiene que ver con las formas propias de operabilidad del sistema ya que ROS funciona con paquetes de configuración de cada

función o grupo de funciones del robot, de acuerdo con las características particulares del mismo.

Profundizando un poco en este tema, se tiene que Ros tiene dos niveles de conceptos. En primer lugar, se encuentra el nivel de archivos de sistema: se trata de grupos de paquetes (*packages*), cada uno de los cuales contiene nodos, los que a su vez describen un proceso de funcionamiento determinado. En segundo lugar, se tiene el nivel de computación gráfica, que se refiere a los comandos útiles *messages*, que pueden ser *publishers* y *subscribers* para intercomunicar a los *packages* previamente diseñados [2].

Así, ROS está basado en un modelo de intercomunicación de nodos, mediante los llamados *publishers* y *subscribers*, que envían y reciben mensajes de movimiento y estructura robótica [9]. Estos nodos también pueden ser categorizados como “componentes reusables”, lo que implica que pueden tomarse de una construcción de programación para un modelo robótico y usarse en otras modelaciones distintas [3].

2) Gazebo: el sitio web de la OSRF define lo que debe entenderse por Gazebo, en los siguientes términos [5]:

“La simulación robótica es esencial en la caja de herramientas de cada experto en robótica. Un simulador bien diseñado permite probar rápidamente algoritmos, robots de diseño, y realizar pruebas de regresión utilizando escenarios realistas.

Gazebo es un simulador 3D multi-robot con dinámica. Ofrece la posibilidad de simular con precisión y eficiencia, diversidad de robots, objetos y sensores en ambientes complejos interiores y exteriores. Gazebo genera, tanto la realimentación realista de sensores, como las interacciones entre los objetos físicamente plausibles, incluida una simulación precisa de la física de cuerpo rígido.

A tu alcance, es un robusto motor de física, gráficos de alta calidad, y las interfaces gráficas programáticas y convenientes. Lo mejor de todo, Gazebo es gratis y es el soporte de una comunidad vibrante”.

A partir de esta definición, se entiende que Gazebo es una herramienta gratuita de simulación, que resulta de vital importancia para la prueba de los algoritmos que van siendo elaborados y configurados y, así, brinda la posibilidad de visibilizar los aciertos y yerros en los que se pueda incurrir en el proceso de desarrollo del robot de que se trate. De esta forma, es posible indicar que la herramienta ROS-Gazebo constituye una completa opción de programación robótica, de código abierto y con una importante gama de posibilidades para emprender desarrollos en el campo de la robótica.

La arquitectura de Gazebo está basada en el motor de simulación ODE (*Open Dynamics Engine*), creado por Russell Smith [11], aunque su desarrollo final se atribuye a Andrew Howard y Nate Koenig, por sus investigaciones en la Universidad del Sur de California [12].

C. Carácter colaborativo y universalista de Ros-Gazebo.

La programación en robótica ha llevado aparejada históricamente una serie de dificultades en virtud de la variedad de formas en que la problemática de su confección puede ser abordada. Así, desarrolladores alrededor del mundo han emprendido esfuerzos aislados por dar mayores horizontes a esta interesante rama del conocimiento, dando pasos carentes de conexión entre sí y apelando a metodologías diversas, generando a la larga una suerte de erosión en el avance de esta ciencia.

Esta diversidad de metodologías ha llevado a que los desarrolladores inviertan grandes cantidades de tiempo y de esfuerzo en la formulación de plataformas y sistemas de base que permitan la operabilidad de los llamados “algoritmos robóticos”. Al respecto, [13] ha indicado lo siguiente:

“La interfaz de paso de mensajes de ROS se está convirtiendo en un estándar de facto para la interoperabilidad de software del robot, lo que significa que las interfaces ROS tanto para el hardware más reciente y las implementaciones de algoritmos de corte de borde están disponibles. Por ejemplo, el sitio web

enumera cientos de paquetes ROS a disposición del público. Este tipo de interfaz uniforme reduce en gran medida la necesidad de escribir código “pegamento” para conectar las partes existentes.

Por supuesto, ROS no es la única plataforma que ofrece estas capacidades. Lo que es único acerca de ROS, al menos a juicio del autor, es el nivel de apoyo generalizado para este a través de la comunidad de la robótica. Esta “masa crítica” de apoyo hace que sea razonable prever que ROS seguirá evolucionando, ampliado y mejorado en el futuro”.

Así las cosas, ROS ha aparecido como una propuesta de solución a esta diversidad regresiva, sirviendo como un entorno tipo sistema operativo, que funciona como una plataforma de unificación del avance mundial en la programación robótica. En este orden de ideas, de acuerdo con importantes académicos que se han dedicado a esta materia, la principal fortaleza de ROS, es su aceptación generalizada y el encauce de esfuerzos en el mundo por el aporte a su avance, desde laboratorios y universidades, hasta el segmento de la comunidad misma interesada en la contribución a la robótica.

Debe indicarse que cuando el autor hace referencia a que el sistema contribuye a evitar la pérdida de tiempo en la confección de paquetes de “código pegamento”, está indicando, por ejemplo, que para la instalación de un sensor, ya se cuenta con modelos de código, que pueden ser utilizados de forma directa y que pueden ser objeto de variación, de acuerdo con las necesidades o intereses del diseñador o desarrollador.

Así, se puede señalar que ha sido creada una gama de paquetes ROS para evitar código pegamento y con ello agilizar la construcción y diseño de la estructura robótica deseada. A manera de ejemplo, es posible encontrar paquetes para un brazo o para la instalación de una pinza (*gripper*) y un torso, entre otros:

Con la introducción de ROS (*Robot Operating System*) gracias a Willow Garage, los investigadores e implementadores de la robótica tienen la oportunidad

de acceder, ahora más que nunca, al trabajo de otros investigadores, ayudados por un conocido repositorio virtual llamado *GitHub* [14]. *GitHub* es un sitio web usado mundialmente por desarrolladores de diversas tecnologías de código abierto, para compartir y desarrollar colaborativamente sus avances investigativos: “*GitHub is how people build software*” [15].

D. Modo de funcionamiento de Ros y Gazebo.

Resulta conveniente ilustrar acerca del funcionamiento de ROS, con base en un ejemplo que permita tener un acercamiento a la forma en que se estructuran sus paquetes de funcionamiento. Como se dijo desde un principio, ROS ha sido diseñado por sus creadores y completado para ejecutarse de forma apropiada con el sistema operativo Ubuntu, basado en Linux, siendo apenas experimentales los desarrollos que han tenido lugar para los entornos IOS y Windows [16].

Ya en el entorno Ubuntu, simplemente debe instalarse ROS, para lo cual, es posible seguir las indicaciones existentes en la página de “ROS *installation*” [17]. Todo el proceso de instalación de Ros y su manejo, se lleva a cabo desde la denominada “Terminal de Ubuntu”.

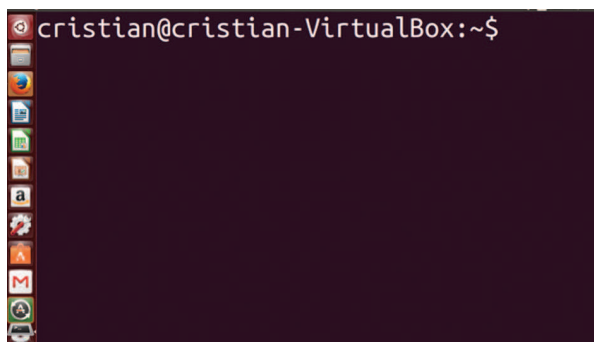


Fig. 1 Imagen de terminal en entorno Ubuntu.

Con fines de contextualización, existen las siguientes versiones de ROS, con sus fechas respectivas de aparición [18]:

Ros Box Turtle. Marzo 2, 2010.

Ros C Turtle. Agosto 2, 2010.

Ros Diamondback. Marzo 2, 2011

Ros Electric Elys. Agosto 30, 2011

Ros Fuerte Turtle. Abril 23, 2012

Ros Groovy Galapagos. Diciembre 31, 2012

Ros Hydro Medusa. Septiembre 4, 2013

Ros Indigo. Julio 22 de 2014.

Ros Jade Turtle. Mayo 23 de 2015.

Ros Kinetic Kame. Mayo 23 de 2016.

Para el caso que se presentará, se utilizará ROS Indigo, trabajando con una versión Ubuntu 14.04. Pueden existir otras combinaciones de sistema operativo y versión de ROS, pero ha de probarse y asegurarse su operabilidad.

En primer lugar, se crea el llamado *Catkin Work Space*, que se constituye en el espacio de trabajo para la configuración del robot, objeto de este trabajo. Los códigos de programación para tal fin aparecen en la página de ROS, cuyo pantallazo se visibiliza de la siguiente forma:

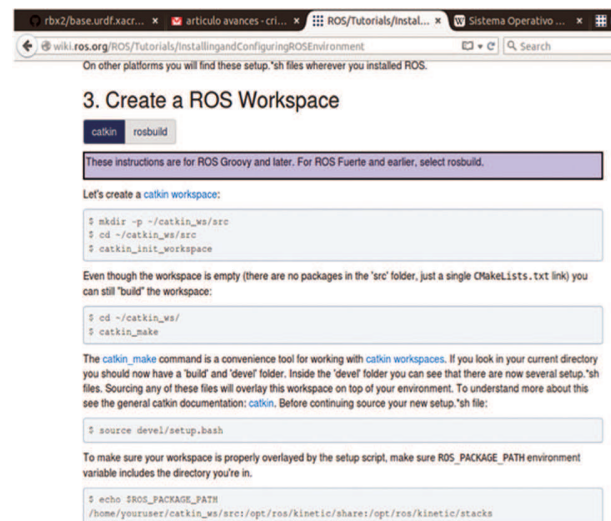


Fig. 2 Tutorial de ROS – Catkin Work Space

Una vez creado el espacio de trabajo, aparecen nuevos directorios, que resultan fundamentales para el trabajo con ROS:

```
workspace_folder/  -- WORKSPACE
src/               -- SOURCE SPACE
CMakeLists.txt     -- 'Toplevel' CMake file, provided by catkin
package_1/
  CMakeLists.txt   -- CMakeLists.txt file for package_1
  package.xml      -- Package manifest for package_1
...
package_n/
  CMakeLists.txt   -- CMakeLists.txt file for package_n
  package.xml      -- Package manifest for package_n
```

Fig. 3 Tutorial de ROS. Directorios Work Space

Como se puede observar, se crea el directorio *source* (src), que es el que va a contener la gama de archivos que se necesitan para la confección del robot; entre ellos, en *CmakeLists.txt* y el *package.xml*. Estos archivos son el marco de trabajo para el archivo que finalmente contiene la estructura del robot, esto es, el fundamental UDRF file.

E. UDRF File.

El UDRF *File* es el archivo que contiene el algoritmo de la estructura robótica dentro del entorno ROS. Desde él, se aplican las variaciones a las dimensiones que se quieran y se fijan los componentes pretendidos para el modelo creado.

Para los fines propuestos, se va a tomar como referencia explicativa el ejemplo tomado del libro *ROS by example 2*, simplemente con el ánimo de visibilizar los elementos de un archivo de este tipo y la forma como se determina, desde él, la estructura del robot.

Dado que resulta del todo pertinente, se procede a mostrar el archivo UDRF, que se pasa a explicar:

Bloque 1

```
<?xml version="1.0"?>
<robot name="base" xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">
<!-- Define a number of dimensions
using properties →
```

Bloque 2

```
<property name="base_size_x" value="0.30" />
<property name="base_size_y" value="0.30" />
<property name="base_size_z" value="0.12" />
<property name="wheel_length" value="0.02032" />
<property name="wheel_radius" value="0.06191" />
```

```
<property name="wheel_offset_x" value="0.09" />
<property name="wheel_offset_y" value="0.17" />
<property name="wheel_offset_z" value="-0.038" />
<property name="PI" value="3.1415" />
<!-- define a wheel →
```

Bloque 3.

```
<macro name="wheel" params="suffix parent
reflect color">
<joint name="${parent}_${suffix}_wheel_joint"
type="continuous">
<axis xyz="0 0 1" />
<limit effort="100" velocity="100"/>
<safety_controller k_velocity="10" />
<origin xyz="${wheel_offset_x} ${reflect*wheel_
offset_y} ${wheel_offset_z}" rpy="${reflect*PI/2}
0 0" />
<parent link="${parent}_link"/>
<child link="${parent}_${suffix}_wheel_link"/>
</joint>
<link name="${parent}_${suffix}_wheel_link">
<visual>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0" />
<geometry>

<cylinderradius="${wheel_radius}"
length="${wheel_length}"/>
</geometry>
<material name="${color}" />
<visual>
</link>
</macro>
```

Bloque 4

```
<!-- The base xacro macro →
<macro name="base" params="name color">
<link name="${name}_link">
<visual>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0" />
<geometry>
<box size="${base_size_x} ${base_size_y}
${base_size_z}" />
</geometry>
<material name="${color}" />
</visual>
```

```
<collision>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0" />
<geometry>
<box size="{base_size_x} {wheel_offset_y*2 +
wheel_length} {base_size_z}" />
</geometry>
</collision>
</link>
</macro>
```

Bloque 5

```
<link name="base_footprint">
<visual>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0" />
<geometry>
<box size="0.05 0.05 0.001" />
</geometry>
<material name="TransparentGreen" />
</visual>
</link>
<joint name="base_joint" type="fixed">
<origin xyz="0 0 {base_size_z}/2
- wheel_offset_z}" rpy="0 0 0" />
<parent link="base_footprint"/>
<child link="base_link" />
</joint>
```

Bloque 6

```
<!-- Add the drive wheels -->
<wheel parent="base" suffix="l" reflect="1"
color="Orange"/>
<wheel parent="base" suffix="r" reflect="-1"
color="Orange"/>
</robot>
```

Para facilitar la comprensión del archivo UDRF anteriormente mostrado, su estructura ha sido dividida en bloques, con miras a ilustrar de la mejor forma sus componentes y lo que está siendo diseñado y construido en cada uno de los mismos.

Se trata de un algoritmo propio del formato UDRF de un modelo bastante simple, pero que resulta bastante útil para familiarizarse y visibilizar su sintaxis, así como la forma en que se moldean los elementos

que se busca, pertenezcan a una estructura robótica determinada.

Antes de continuar, debe señalarse que la herramienta ROS tiene incluida una herramienta de visualización 3D llamada *Rviz 3D visualization tool for ROS* [19], que permite observar la forma que va adquiriendo el robot y la manera como él mismo va siendo moldeado de cara a los datos y valores que se van introduciendo en la secuencia.

Desde ya, convendría aclarar que la herramienta Rviz tiene funciones estrictas de visualización y, que a diferencia de la herramienta Gazebo, no prevé esquemas de simulación de fricción, gravedad y otros, ni tampoco es posible la construcción de *worlds* o escenarios de interacción, elementos que sí han sido previstos y adaptados para tener una completa simulación en Gazebo.

Retomando el análisis del ejemplo del archivo UDRF, se puede indicar que el mismo permite visibilizar una estructura en RVIZ, como se muestra en la Fig. 4.

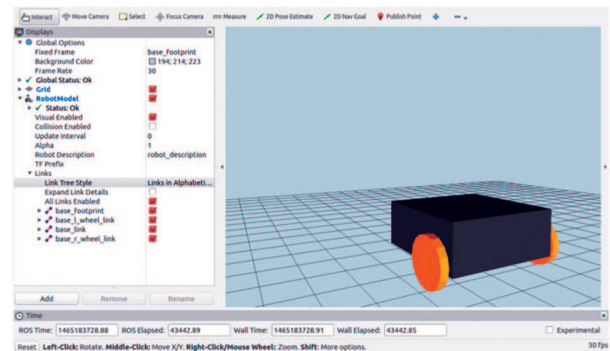


Fig. 4 Estructura visibilizada en RVIZ

Como se venía indicando, se trata de una estructura cúbica bastante simple, con dos ruedas. La misma se visualiza en RVIZ, mediante la apertura de una ventana de terminal distinta y ejecutando el denominado *launch file*, o archivo de lanzamiento. A modo simplemente indicativo e ilustrativo, se puede decir que la estructura de algoritmo *launch file* es la siguiente [20]:

```
<launch>
<rosparam command="load" file="$(find pkg_
name)/path/file_name.yaml" />
<node pkg="pkg_name" type="node_type"
name="node_name" />
</launch>
```

Para comenzar, se encuentra el primer bloque, que contiene las primeras líneas de todo archivo UDRF, con la única variación posible relativa al nombre que se quiera dar al robot.

En el bloque 2, se encuentran las propiedades de la estructura. Aquí se asignan los valores a las variables que serán usadas en el resto del archivo.

Para comprender este segmento, así como el de otros archivos UDRF que se vayan a analizar, se deben tener en cuenta las siguientes precisiones [5]:

- Las medidas lineares se fijan en metros.
- Los valores angulares se expresan en radianes.
- Los ejes van alineados de la siguiente forma: El eje x apunta en dirección al frente robot; el eje y apunta a la izquierda y el eje z hacia arriba.
- Una articulación rotativa (*roll*) gira en torno al eje x.
- Una articulación prismática (*pitch*) gira en torno al eje y.
- Una articulación de base (*yaw*) gira en torno al eje z.

Así, por ejemplo, las primeras 3 líneas de propiedades indican lo siguiente:

```
<property name="base_size_x" value="0.30" />
<property name="base_size_y" value="0.30" />
<property name="base_size_z" value="0.12" />
```

Corresponden a la estructura cúbica e indican que la medida en el eje (x) es de 30 cm; la medida en el eje (y) también es de 30 cm y en el eje z, de 12 cm.

Seguidamente, el largo de la rueda sería de algo más de 2 cm y su radio de un poco más de 6 cm.

Finalmente, las líneas *offset* refieren a la distancia en que las ruedas están montadas, partiendo de la línea de centro del robot:

```
<property name="wheel_length" value="0.02032" />
<property name="wheel_radius" value="0.06191" />
<property name="wheel_offset_x" value="0.09" />
<property name="wheel_offset_y" value="0.17" />
<property name="wheel_offset_z" value="-0.038" />
```

El bloque morado es el correspondiente al macro de la rueda. El llamado componente **xacro macro** refiere a cada uno de los componentes del robot y se asimila a un archivo de c++, el cual debe existir para cada uno de los componentes (ver sitio web: <http://wiki.ros.org/urdf/Tutorials/Understanding-PR2URDF>).

Cabe indicar que la plataforma ROS trabaja para la elaboración de los archivos UDRF o bien con estructuras de c++ o Python [21]. Cuando el nodo algorítmico está escrito en c++ recibe el nombre de *roscpp*, y cuando lo está en Python, se denomina *rospy* [22].

Como se puede observar, el posicionamiento de las ruedas se hace estableciendo entre los signos {}, los valores que se habían fijado de forma previa:

```
<origin xyz="$(wheel_offset_x) ${reflect*wheel_
offset_y} ${wheel_offset_z}" rpy="$(reflect*PI/2) 0
0" />
```

El bloque negro corresponde a la base de los archivos macro, que para el caso de esta investigación, corresponde a la estructura cúbica. En el sub-bloque visual se establecen entre los signos {}, las medidas que previamente se habían fijado para el cubo.

```
<box size="$(base_size_x) ${base_size_y}
${base_size_z}" />
```

En el sub-bloque *collision* se hace referencia a si se quiere que la estructura cúbica esté algo distanciada

o no de las otras partes. Para este caso, se ha alejado un poco la rueda para evitar atascamientos. Esta distancia dirigida a evitar atascamientos se ha resaltado y corresponde dentro de la siguiente sintaxis a $y*2$:

```
box size="${base_size_x} ${wheel_offset_y*2 +
wheel_length} ${base_size_z}
```

El bloque azul claro denominado *footprint* busca fijar la distancia del plano base; es decir, del suelo. Así, en el ejemplo que se viene manejando es la distancia de la estructura cúbica respecto del suelo.

Finalmente, en el bloque seis se unen las ruedas a la estructura y se les da el color de elección. El

parámetro *suffix* le da a las ruedas una denominación diferenciada:

Esta sería la rueda izquierda:

```
<wheel parent="base" suffix="l" reflect="1"
color="Orange"/>
```

Esta sería la rueda derecha:

```
<wheel parent="base" suffix="r" reflect="-1"
color="Orange"/>
```

También se puede visibilizar los ejes existentes en cada una de las piezas de la estructura ver Fig. 5.

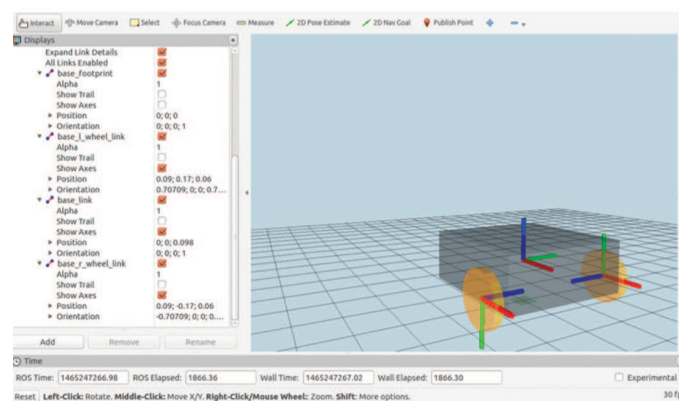


Fig. 5 Ejes x, y, z de la estructura

De igual forma, resulta pertinente indicar que cada eje tiene un color distintivo y específico.

Así, los ejes tienen los siguientes colores: el rojo corresponde al eje x; el verde, al eje y y el azul es el eje z. [23].

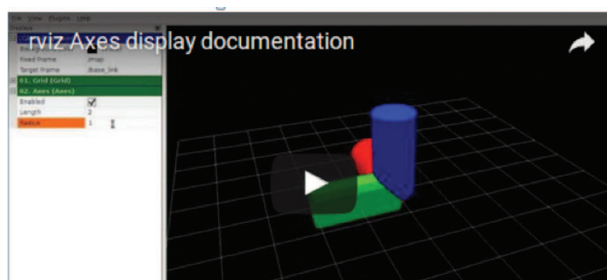


Fig. 6 Colores de los ejes x, y, z

A continuación se visualiza el *offset* de la rueda sobre el eje z:

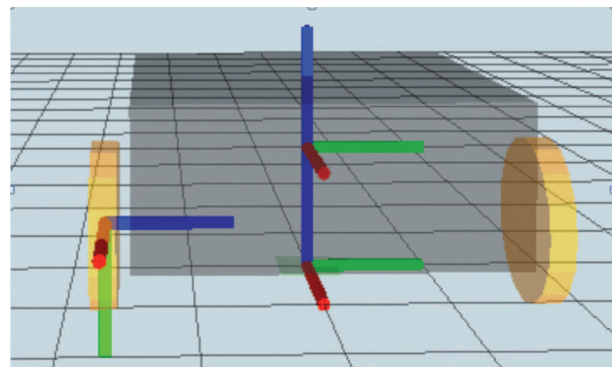


Fig. 7 Offset de la rueda izquierda desde la perspectiva del eje z

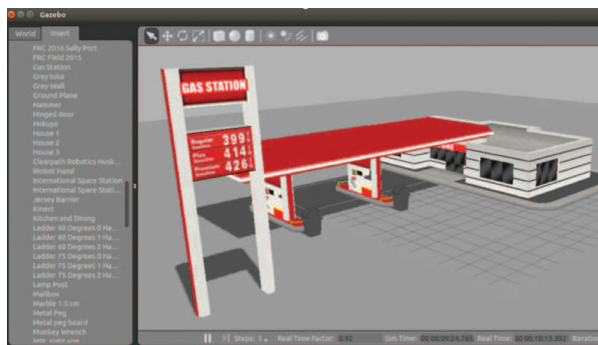
F. Visualización en Gazebo

Previamente debe indicarse que en un primer momento, Gazebo se creó y desarrolló para trabajar con *Player*, una plataforma - proyecto de desarrollo robótico [24]. Posteriormente, fue adaptado a ROS y en la actualidad se trata de un sistema que bien puede funcionar con desarrollo algorítmico vía ROS o con otros sistemas operativos [25].

Gazebo trae incorporados una serie de *worlds* en los que se puede insertar la estructura robótica y ver cómo se produce su interacción dentro de los mismos. Igualmente, es posible introducir estructuras de construcción como bloques y esferas, entre otras, con miras a visibilizar cómo el robot manipula o traslada objetos de un lugar a otro. El simulador gazebo es atractivo y se usa en todo el mundo en la comunidad robótica porque permite modelar mundos complejos y sensores de visión bastante útiles para visibilizar el funcionamiento del robot [27].

```
roslaunch gazebo ros empty world.launch
```

En la Fig. 9 es posible visibilizar el *World, Gas Station*. Al lado izquierdo se muestra un listado de algunos objetos que vienen incorporados en el programa con miras a facilitar y posibilitar un buen escenario de simulación.



Igualmente, es posible insertar robots ya construidos y bastante avanzados como el PR2, diseñado y desarrollado por *Willow Garage*, y que en la actualidad sirve como fuente de referencia para la experimentación con Robots en escenarios reales:

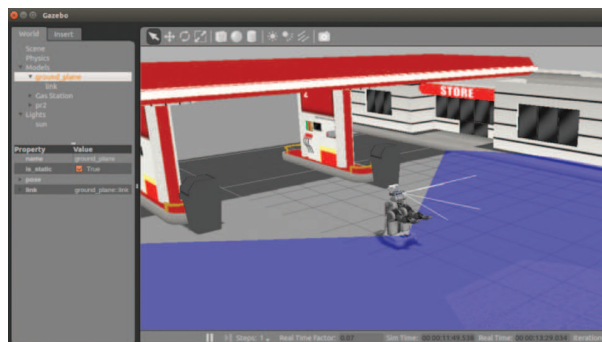


Fig. 10 PR2 en el World Gas Station.

A título informativo, resulta pertinente presentar la descripción del PR2, que se encuentra en el sitio virtual de ROS:

El PR2 es una plataforma de manipulación móvil construida por Willow Garage. El sistema de software PR2 está escrito completamente en ROS. Como tal, todas las capacidades PR2 están disponibles a través de interfaces de ROS.

Es tal la fidelidad de la simulación, que experimentos con robots reales han arrojado la siguiente conclusión, tratándose de ROS y Gazebo:

“En experimentos de vida real, esto es equivalente a la observación del comportamiento físico del robot para ver si responde como se espera” [28].

También es importante indicar que con el binomio ROS-Gazebo es posible realizar códigos de verificación del correcto funcionamiento del robot, mediante alertas de fallas detectadas [29]. Ejemplo de ello, es el código de comprobación de estabilización PID para un robot humanoide, utilizado en el entorno Gazebo [30]. Gazebo también ha sido usado en otros ámbitos de simulación, como la célebre *Robot World Cup*, celebrada cada año [31].

Igualmente, la verificación de los tiempos de movimiento en el campo de la robótica es bastante importante y esta herramienta proporciona elementos de verificación de medidas cronológicas. Ejemplo de ello, son las pruebas efectuadas en los tiempos de colisión del vehículo aéreo no tripulado *Parrot ar drone* [32].

G. Perspectivas actuales de trabajo con ROS.

Para finalizar, y con el ánimo de mostrar algunas perspectivas de la industria y de la dirección que está tomando el trabajo con la plataforma ROS, se puede fijar la mirada en algunos nichos de inversión que tienden a valerse de robots para diferentes actividades y que están demandando su adecuada programación con fines específicos. Debe indicarse también que ROS puede utilizarse en cualquier estructura o proyecto de tipo robótico, sea cual fuere su destinación o funcionalidad:

...el potencial de ROS queda ilustrado con la habilidad de trabajar con todo tipo de Robot en un entorno simulado [33].

1) Drones: recientemente (31 de mayo de 2016), en su cuenta de Twitter, la OSRF compartió un interesante artículo titulado *Why developers should care about the drone industry?* de la revista *SDT Times – Software Development News*, en que se trata el tema relativo al *boom* de la programación robótica en drones.

De la lectura se extrae que lo importante de trabajar con drones, tiene que ver con la información que puede ser obtenida a través de su uso:

“Los drones no son interesantes por sí mismos; lo que es interesante acerca de los drones es lo que pueden hacer: los datos. Lo que pueden hacer estará definido por el Software”, dijo Chris Anderson, CEO de 3D Robotics (3DR), un proveedor, fabricante de aviones con tecnología de no tripulados [34].

Así, los drones no resultan de interés por sí mismos, sino por lo datos que pueden captarse con su manejo y conducción a través de programas especializados de configuración informática:

Drone image processing requires specialty configured compute resources [35].

Dado el aumento desmesurado de estos artefactos en diferentes lugares del mundo, se ha vuelto imprescindible la búsqueda de soluciones a través de la programación, para lograr su operación segura durante actividades de vuelo:

“Los desarrolladores no sólo tendrán la tarea de ser capaces de recolectar, rastrear, analizar, gestionar y dar sentido a los datos del Software, sino también asegurarse de que estos vehículos no tripulados puedan operar con seguridad en el cielo” [34].

Así mismo, los lenguajes de programación que se utilizan actualmente para la programación con drones, los mismos que utiliza ROS para la construcción algorítmica, son: C++ y Python.

Los desarrolladores de lenguajes de programación más populares que están utilizando para crear software de drones, a menudo usan el C o C ++ debido a su flexibilidad y bajo nivel de control, de acuerdo con Bowen.

“Sin embargo, si desea ejecutar una aplicación en la parte superior del código de vuelo a través de APIs, Python es un poco arriesgado”. Dijo Anderson de 3DR: “Podrías escribir en C o Java, pero Python es el lenguaje de acceso para funciones de nivel superior” [34].

Los campos previstos por la industria para la utilización de drones realmente son muy variados e incluyen:

- La construcción de soluciones para ayudar a los agricultores a medir sus cultivos y controlar la vegetación, dentro de la llamada agricultura de precisión. Esto se logra a través de la reducción de costos de operación y mejorando el rendimiento con la mayor generación de alimentos con menos insumos, frente a la demanda de la creciente población mundial. [36]. Se proyecta un importante crecimiento de esta industria en el mundo:

“The worldwide market for agricultural drones is \$494 million anticipated to reach \$3.69 billion by 2022”[37]. Así, el mercado global para drones de agricultura crecerá de una valuación de los 494 millones de dólares a los 3,69 billones en 2022.

- Desarrollo de un sistema que pueda ayudar a los esfuerzos de rescate en situaciones de emergencia. Ejemplo de ello, es el sistema S.W.A.R.M. (Search With Aerial Rc Multi-otor), dirigido a la búsqueda de personas desaparecidas [38].
- Implementación de señal de internet, mediante drones, en lugares alejados. Ya está siendo usado por la empresa Facebook, en diferentes lugares de América Latina, África y Asia [39].
- Ayuda en el control de incendios forestales, aportando a su control y predicción mediante drones manipulados desde bases terrestres [40].

2) Avances en el área de investigación espacial:

en el aspecto de investigación espacial, *Robonaut* ha sido un proyecto respaldado por la NASA, en colaboración con la *General Motors*, el cual es presentado en su página oficial en los siguientes términos:

Robonaut es un hábil robot humanoide construido y diseñado en el Centro Espacial Johnson, en Houston, Texas [41].

Este robot humanoide se encuentra en la Estación Espacial Internacional y desarrolla tareas de forma permanente en tal entorno. La palabra **dexterous** hace referencia a que sus manos y dedos se mueven como los de un ser humano:

Robonaut es llamado un robot dexterous porque sus manos y dedos se mueven como los de una persona. Así que Robonaut puede realizar tareas diseñadas para ser hechas realizadas por manos humanas. Por ejemplo, Robonaut puede utilizar muchas de las mismas herramientas que usa un astronauta [42].

Este Robot fue implementado en su programación a nivel íntegro en la plataforma ROS y todos sus componentes pueden ser hallados en el sitio Web de tal plataforma.

El estudio de las particularidades de programación de este magnífico robot en la plataforma ROS se encuentra en el capítulo del libro *ROS in Space: A Case Study ON Robonaut 2*.

Se trata del abordaje del caso de estudio planteado por la construcción de este Robot, para la identificación de las nuevas capacidades del

software, interfaces de usuario, implementación y operación remota, así como la ruta de aseguramiento de seguridad para su operabilidad en el espacio exterior.

Cabe preguntarse acerca de su uso en tal estación espacial: en primer lugar, ayudará a los astronautas a reducir el gasto de tiempo en labores de rutina de limpieza y mantenimiento de dispositivos. En segundo lugar, la experiencia ganada por el robot en su trabajo será esencial en el diseño de sistemas de guiado para operaciones llevadas a cabo en vehículos de reparación externa [43].



Fig. 11 Robonaut.

Este robot también ha sido acondicionado para colaborar en operaciones de reparación de la Estación Espacial Internacional dentro o fuera de la misma.

Robonaut 2 ha recibido un par de piernas que ayudarán a que se mueva alrededor de la estación, y, finalmente, permitir que el robot trabaje

en las reparaciones, tanto dentro como fuera de la estación orbital [44].

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este apartado se presenta una tabla comparativa de ROS (Tabla 1) respecto de otros programas o entornos dirigidos al desarrollo robótico:

TABLA I
COMPARATIVO ENTRE SIMULADORES

ROS (ROBOTIC OPERATIVE SYSTEM)	ROBOCELL	SIMUROB	VREP
Entorno en el que funciona: Linux	Entorno en el que funciona: Windows	Entorno en el que funciona: Windows	Entorno en el que funciona: Mac y Linux.
Trabaja con el sistema de simulación Gazebo que permite interactuar con variables como la gravedad, la fricción, el viento y otras no disponibles en programas diferentes: (<i>odometry, localizatiion, perception</i> [45]). Odometría hace referencia a localización y variación de movimiento de sensores.	El sistema de simulación no cuenta con variables como viento, rozamiento, fricción, etc.	El sistema de simulación no cuenta con variables como viento, rozamiento, fricción, etc.	Tiene su propio sistema de simulación, aunque también puede enlazarse con ROS y así, trabajar con el sistema de simulación Gazebo que permite interactuar con variables como la gravedad, la fricción, el viento y otras no disponibles en programas diferentes.
Permite la interacción entre modelos creados por diferentes autores. Se trata de una plataforma eminentemente colaborativa	No permite interacción continua entre modelos creados por otros autores. Solo con modelos que ya vienen predeterminados en el programa	No permite interacción continua entre modelos creados por otros autores. Solo con modelos que ya vienen predeterminados en el programa	Permite la interacción entre modelos creados por diferentes autores. Se trata de una plataforma eminentemente colaborativa
Uno es el entorno donde se trabaja en la configuración y estructuración del robot y otro distinto, en el que se accede a la simulación con Gazebo.	Dentro de un mismo entorno, permite trabajar en las órdenes al robot, mediante instrucciones previamente determinadas	Dentro de un mismo entorno, permite trabajar en las órdenes al robot, mediante instrucciones previamente determinadas	Dentro de un mismo entorno permite trabajar en las órdenes al robot, mediante instrucciones previamente determinadas
Las instrucciones se definen con base en comandos algorítmicos que siguen una estructura determinada, y que pueden construirse y determinarse, de acuerdo con las necesidades y destinos. [46]	Las instrucciones se hacen con base en comandos que ya vienen creados en el entorno del programa. [47]	Las instrucciones se hacen con base en comandos que ya vienen creados en el entorno del programa. [48]	Las instrucciones se definen con base en comandos algorítmicos que siguen una estructura determinada, y que pueden construirse y determinarse, de acuerdo con las necesidades y destinos [49]

Vale señalar que ROS ha sido notablemente exitoso en el ámbito investigativo y comercial del mundo de la robótica. Sin perder de vista el carácter reciente de este sistema, para el año 2015, existían cerca de 2.000 paquetes levantados en esta plataforma de software, alrededor de 80 robots disponibles comercialmente basados en ROS y 1.850 artículos investigativos mencionando a ROS en sus contenidos [50].

De esta manera, el resultado investigativo refiere a que se ha descubierto una herramienta de software sumamente importante para al avance de la robótica en el país, cuyo uso debe promoverse, ya

que como resulta visible en el grueso de la referencia bibliográfica consultada, se trata del sistema que, en la actualidad, marca la tendencia del desarrollo robótico en naciones desarrolladas.

Desde la perspectiva del paradigma de Colombia, es dable considerar que estas iniciativas pueden dar una respuesta a los interrogantes referidos a la forma como debe desarrollarse el sector agrícola colombiano, representando la robótica un esperanzador camino a la tecnificación del mismo, tal y como ha venido ocurriendo en naciones principalmente europeas desde hace años. Ejemplo de ello, es el proyecto ICT AGRI QUAD-AV (*Ambient*

Awareness for Autonomous Agricultural Vehicles), financiado por la Agencia Danesa de la Industria de Alimentos [51].

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

ROS se perfila como una opción mundial para el avance de la programación robótica. En este sentido, resulta importante desarrollar competencias en el manejo de tal sistema, ya que si se pretende, en un futuro, presentar propuestas a problemas concretos como el atinente al manejo adecuado de drones con diferentes propósitos, resulta fundamental usar a la perfección este tipo de herramientas.

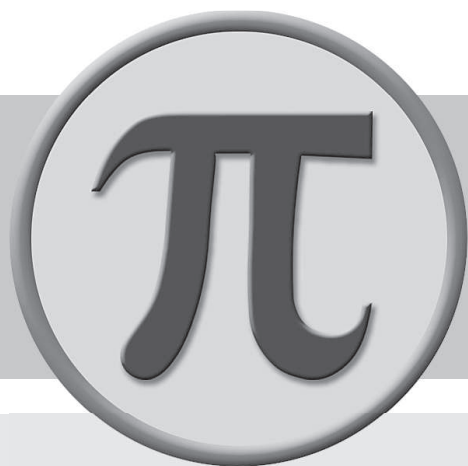
El sistema ROS se encuentra en constante desarrollo y evolución, por lo que el adecuado estudio del mismo, representa una tarea permanente e inagotable.

Son grandes los desafíos que el mundo actual impone a quienes les apasiona el campo de la programación robótica. Existen valiosas herramientas de código abierto que están al alcance del público, siendo ROS una de ellas. Tales herramientas se encuentran ahí y están a la espera de nutrirse de contenidos que aporten al avance de tan importante ramo del conocimiento, en pro de la contribución al progreso de la humanidad.

REFERENCIAS

- [1] Stanford University, *Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL)*, (2016, Sep 08). [Online]. Available: <http://ai.stanford.edu/>.
- [2] OSRF, *ROS*, (2013). [Online]. Available: <http://www.ros.org/history/>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [3] J. D'Onfro, *How a billionaire who wrote Google's original code created a robot revolution*, Bussiner Insider, 2016.
- [4] Willowgarage, *Willowgarage*, 2008. [Online]. Available: <https://www.willowgarage.com/pages/about-us>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [5] P. Goebel, "ROS by example", Vol. 2. Packages and Programs for Advanced Robot Behaviors, California, 2014.
- [6] OSRF, *ROS*, (2013). [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [7] F. Paz, *The Corpora Robotic Company*, (2010). [Online]. Available: <http://thecorpora.com/blog/?p=335&lang=es>. [Último acceso: 2016 06 15].
- [8] A. Goncalves, *ROSInt - Integration of a mobile robot in ROS architecture*, Coimbra: University of Coimbra, 2016, p. 27.
- [9] G. Parisi y S. Wermter, *A Neurocognitive Robot Assistant for Robust Event Detection*, Trends in ambient intelligent systems. Studies in computational intelligence, pp. 1-29, 2016.
- [10] O. Khatib, *Handbook of Robotics*, 2 ed., Stanford: Springer, 2016.
- [11] P. Gómez del Torno, O. Alvarez fres y S. Marcos Pablos, *Robotic Development de Service Robotic within the Digital Home*, New York, Springer, 2011, pp. 50-88.
- [12] M. Eaton, *Evolutionary Humanoid Robotics*, Limerick: Springer, 2015.
- [13] J. O' Kane, *A Gentle Introduction to Ros*, Columbia: University of South Carolina, 2014.
- [14] T. T. Andersen, *Optimizing the Universal Robots ROS driver*, Technical University of Denmark, 2015.
- [15] T. Preston-Werner y C. Wanstrath, *GITHUB*, (2010). [Online]. Available: <https://github.com/>. [Último acceso: 12 09 2016].
- [16] S. Puligny, *ROS interface and URDF parser for Webots*, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, 2014.
- [17] OSRF, *ROS*, (2013). [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/indigo/Installation/Ubuntu>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [18] OSRF, *ROS*, (2013). [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/Distributions>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [19] OSRF, *Ros Rviz*, (2013). [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/rviz>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [20] Stack Over Flow, *How to use an launch file in xml document to get the parameters to be used in a cpp file*, (2016). [Online]. Available: <http://stackoverflow.com/questions/29493361/how-to-use-an-launch-file-in-xml-document-to-get-the-parameters-to-be-used-in-a>. [Último acceso: 08 09 2016].
- [21] J. Lentin, *Mastering Ros for Robotics Programming*, Birmingham: Packt Publishing, 2015, p. 3.
- [22] A. Goncalves, *ROSInt - Integration of a mobile robot in ROS architecture*, Coimbra: University of Coimbra, 2012, p. 78.
- [23] OSRF, *ROS Axes*, (2013). [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/rviz/DisplayTypes/Axes>. [Último acceso: 15 06 2016].
- [24] Player Project, (2014). [Online]. Available: <http://playerstage.sourceforge.net/>. [Último acceso: 09 09 2016].
- [25] A. Nuno Dos Santos, *RobotTeamSim - 3D Visualization of Cooperative Mobile Robot Missions in Gazebo Virtual Environment*, Coimbra: University of Coimbra, 2013.
- [26] J. J. López Perez, V. Ayala-Ramírez y U. Hernández-Belmonte, «Dynamic Object Detection and Representation for Mobile,» de Pattern Recognition. 8th Mexican Conference. MCPR 2016. Guanajuato, México. June 22-25, 2016. Proceedings, 2016.
- [27] T. Habra, D. Houman, A. Cardellino, L. Natale, N. Tsagarakis, P. Fiset y R. Ronsse, *ROBOTRAN-YARP Interface. A Frame World for a Real Time Controller Developments Based on Multibody Dynamics Simulations*, Computational Methods in Applied Sciences, pp. 147-164, 2016.

- [28] D. Araiza-Illan, D. Western, A. Pipe y K. Eder, «Verification of Robotics. Coverage-Driven Verification - An approach to verify Code for Robots that directly interact with humans,» de Hardware and Software: Verification and Testing. 11th International Haifa Verification Conference, HVC 2015 Haifa Israel. November 17-19, 2015. Proceedings, 2015.
- [29] D. araiza-Illan, D. Western, A. G. Pipe y K. Eder, «Systematic and Realistic Testing in Simulation of Control Code for Robots in Collaborative Human Robot - Interactions,» de Towards Autonomous Robotic Systems. 17th Annual Conference, TAROS 2016 Sheffield, UK, June 26 - July 1, 2016. Proceedings, Sheffield.
- [30] B. Madhu, K. Surya, H. Roshan kumar y K. Cheruvu Shiv, «Stabilization of Posture of Humanoid Using PID Controller in Gazebo Simulator Using Robot Operative System (ROS),» de CAD/CAM Robotics and Factories of the future. Proceedings of the 28th international conference on CARS & FOF 2016, Kolaghat, 2016.
- [31] R. A.C. Bianchi, L. Akin, S. Ramamoorthy y K. Sugiura, *Robocup 2014: Robot World Cup*, New York: Springer, Robocup 2014: Robot World Cup XVIII, p. 228.
- [32] W. Amalraj Arokiasami, T. K. Chen, D. Srinivasan y P. Vaddakkepat, «Impact of the Length of Optical Flow Vectors in Estimating Time To Contact an Obstacle,» de Proceedings of the 18th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems, Springer, 2015.
- [33] A. Martínez y E. Fernández, *Learning Ros For Robotics Programming*, Birmingham: Packt Publishing, 2013.
- [34] C. Mulligan, *Why developers should care about the drone industry*, SD Times Software Developers News, 2016.
- [35] M. Woodall, *Drone Data*, (2014, 08). [Online]. Available: <http://www.dronedata.com/>. [Último acceso: 06 09 2016].
- [36] J.P. Muller, Stratfor, *The Fertile common ground between Technology and Agriculture*, (2016, Ago 08). [Online]. Available: <https://www.geneticliteracyproject.org/2016/08/09/big-data-romances-big-ag-future-precision-agriculture-may-drones/#link>. [Último acceso: 07 09 2016].
- [37] Market Research Reports.biz, *Market Research Reports.biz*, (2016). [Online]. Available: <http://www.marketresearchreports.biz/>. [Último acceso: 08 09 2016].
- [38] [38] Swarm. *Volunteer Search & Rescue Network*, (2016). [Online]. Available: sardrones.org. [Último acceso: 12 09 2016].
- [39] S. Leal, *e-Renovarse o Morir. 7 tendencias tecnológicas para convertirse en un líder digital*, Barcelona, 2013, p. 40.
- [40] F. Camacho Obregón, *Proyecto Drone Fire*, Cadiz: Universidad de Cadiz, 2015.
- [41] NASA National Spacial Agency, *R2 Robonaut 2*, (2013). [Online]. Available: <http://robonaut.jsc.nasa.gov/default.asp#panel-1>. [Último acceso: 23 06 2016].
- [42] NASA, *What is Robonaut*, (2012). [Online]. Available: <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-robonaut-58.html>. [Último acceso: 23 06 2016].
- [43] J. Badger, D. Gooding, K. Ensley, K. Hambuchen y A. Thackston, «ROS in Space: A Case Study on Robonaut 2,» de *Studies in Computational Intelligence*, vol. 625, 2016, pp. 343-373.
- [44] E. Howell, *Space.com*, (2014, Sep 09). [Online]. Available: <http://www.space.com/27161-space-station-robonaut-legs.html>. [Último acceso: 2016].
- [45] M. Aznar, F. Gómez Bravo, M. Sánchez, J. M. Martín y R. Jiménez, «Ros Methodology to Work with Non-Ros Mobile Robots: experimental uses in Mobile Robotics Teaching,» *ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference: Advances in Robotics, Volume 2*, vol. 2, nº 253, pp. 411-426, 2014.
- [46] O. S. R. OSRF Foundation, *Robotic Operative System. ROS*, 2015. [Online]. Available: www.ros.org.
- [47] Intelitek, *Robocell Manual*, 2005.
- [48] M. Beltrán Blanco, *Simurob, Manual de Usuario*, 2012.
- [49] Coppelia Robotics, *V-REP virtual robot experimentation platform*, (2016). [Online]. Available: <http://www.coppeliarobotics.com>.
- [50] M. Quigley, B. Gerkey y W. Smart, *Programming Robots with ROS. A practical introduction to the Robot Operative System*, Sebastopol, California: O'Really Media, 2015.
- [51] Robotikka, *Actualidad Gadgeted*, (2011, Nov 21). [Online]. Available: <http://www.actualidadgadget.com/europa-apuesta-por-la-robotica-agricola/>. [Último acceso: 13 09 2016].



PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA UTILIZACIÓN DE VIDEOJUEGOS EN CURSOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA -UNAD

STUDENTS PERCEPTION ON THE USE OF VIDEO GAMES IN COURSES OF THE OPEN AND DISTANCE NATIONAL UNIVERSITY - UNAD



¹López Ortiz Iván Arturo, ²Hermes Mosquera Angulo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD, Popayán, Colombia

¹ivan.lope@unad.edu.co

²hermes.mosquera@unad.edu.co

Recibido: 10/08/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

El artículo parte del contexto de la industria de los videos juegos en el ámbito mundial y la cantidad de dinero que esta actividad mueve alrededor del mundo (90.000 millones de dólares para el 2015 según [1]). También se describen algunas experiencias de éxito entorno a proyectos dedicados específicamente a la educación. Sin embargo, los resultados presentados acá son el punto de partida del proyecto de investigación denominado, Los video juegos como estrategia de enseñanza-aprendizaje en cursos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia -Unad- con el que se pretende dar respuesta a una de la preguntas orientadoras del proyecto: ¿Cuál es la percepción que tienen los estudiantes de educación superior sobre los video juegos? Y, en este sentido, la base fundamental de esta investigación es presentar un análisis de la aceptabilidad y uso del videojuego por parte de los estudiantes y profesores de diferentes programas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, caracterizados por géneros, edades y programas académicos, entre otros aspectos. Como resultado, se obtuvo información importante sobre gustos, hábitos y dispositivos en los que los estudiantes tienen instalados los videojuegos, además, del tiempo que les dedican a estos, o estarían dispuestos a dedicarles en la semana. Con la información recolectada, ya es posible iniciar la construcción de un videojuego adecuado a las características propias de los estudiantes de la Universidad.

Palabras clave: cursos académicos, educación, gamificación, video juegos.

ABSTRACT

This article starts from the context of the industry of video games at the global level and the amount of money that this activity moves around the world (90,000 million dollars in 2015 according to [1]). It also describes some experiences of success on projects devoted specifically to education. However, the results presented here are the starting point of the research Project called The video games as a teaching-learning strategy in courses of the Open and Distance National University - UNAD-, which

aims to respond to one of the guiding questions of the project: What is the perception of higher education students, on the video games? In this sense, the fundamental basis of this research is to present an analysis of the acceptability and use of video games by students and teachers of different programs of UNAD, characterized by gender, age and academic programs, among other aspects. As a result, was obtained important information about likes, habits and devices in which the students have installed games; in addition, the time they devote or would be willing to spend in the week, to these games. With the information gathered, it is possible to start the construction of a videogame appropriate to the students characteristics, in the UNAD

Keywords: academic courses, education, gamification, video games.



I. INTRODUCCIÓN

La innovación constante en los procesos académicos y didácticos hace de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Unad, una de las pioneras en el uso de las Tecnología de la Información y la Comunicación en la educación en Colombia; en este sentido, la presente propuesta enfoca su estudio al uso de los videos juegos educativos en las aulas, lo que [2] ha denominado game-based learning DGBL. Partiendo de investigaciones realizadas desde diversas perspectivas, con conclusiones y demostraciones reales de experiencias exitosas, se puede vislumbrar una amalgama de posibilidades tecnopedagógicas que, con el concurso de un enfoque multidisciplinar, permite el desarrollo de propuestas innovadoras que redunden en beneficio de la comunidad académica.

Desde este punto, el presente artículo parte de una revisión de lo que en cifras económicas mueve la industria del videojuego, las cuales para el año 2018 podrían superar 113.300 millones de dólares [1], además de relacionar algunas experiencias en las que los videojuegos aportan un papel muy importante en el proceso de formación académica. También se realiza la indagación de la percepción que los estudiantes tienen sobre los videojuegos, para lo cual se planteó como pregunta de investigación, para el proyecto: “¿Cómo involucrar videojuegos como estrategia de enseñanza aprendizaje en cursos de educación superior?”, acompañada de las siguientes preguntas orientadoras:

¿Cuál es la percepción que tienen los estudiantes de educación superior sobre los videojuegos?

¿Los juegos diseñados para distintos programas y cursos de la educación superior cumplen con el propósito de desarrollar y fortalecer la capacidad cognitiva de los estudiantes para la construcción de nuevo conocimiento sobre una realidad específica?

El presente artículo trata de dar respuesta a la primera pregunta orientadora, referida a la percepción que los estudiantes de educación superior, y específicamente de la Unad, tienen sobre los videojuegos. Para dar respuesta a este interrogante, se planteó un objetivo específico: “Indagar acerca de la percepción que tienen los estudiantes de la Unad sobre los video Juegos”.

II. LA INDUSTRIA DE LOS VIDEOJUEGOS

Haciendo un poco de historia, se tiene que los primeros videojuegos se desarrollaron a partir de la culminación de la Segunda Guerra Mundial, de la mano con los primeros momentos del nacimiento de la computación. No obstante, es en la década de los 80's en la que todos estos esfuerzos e investigaciones dan fruto con el nacimiento de Pcaman, Donkey Kong, Tetris o Mario Bros, cuyas marcas se han mantenido hasta la actualidad. Es así, entonces, como nace una industria que en la actualidad mueve más de 50 mil millones de dólares alrededor

del mundo [1]. La industria logró su máximo apogeo de masificación con la aparición de los iPhone en el año 2007 y el surgimiento posterior de sistemas operativos móviles. Según [3], “El tamaño del mercado de los videojuegos para el año 2014 fue de unos 23.188 millones de euros con un crecimiento del 3% con respecto al año anterior”.

En 2015, la industria de los videojuegos movió unos 90.000 millones de dólares y para 2018, podría superar los 113.300 millones, de acuerdo con datos de la firma [4] Unas cifras de escándalo que convierten, de hecho, al mercado de los videojuegos en la industria del entretenimiento y el ocio digital más rentable de todo el mundo, por encima de míticas categorías como el cine, las series o la lectura [1].

Para el caso de Colombia, [5] afirma: “El desarrollo de videojuegos en Colombia empezó en 2004 con una compañía llamada Inmersion Games”, en efecto, la desarrolladora más grande del país.

Igualmente, en Colombia, las empresas más destacadas, aparte de Efecto Studios, son, TeraVision y Brainz, ubicadas en Bogotá, y Below The Game con sede en Bucaramanga. Estas cuatro empresas se han dedicado a desarrollar videojuegos de calidad y no se han concentrado en el público colombiano, aspecto que los ha llevado a obtener grandes contratos con firmas internacionales: Brainz tiene uno con Square Enix, empresa japonesa responsable de hacer juegos como Final Fantasy, y también con Gamevil, otra gigante

desarrolladora en Corea del Sur. TeraVision trabaja con Disney, y Below the Game, desde hace poco, con Sony.

A pesar de la popularidad que tienen los videojuegos y de ser una de las industrias multimillonarias, surgen muchos interrogantes cuando se decide utilizarlos como una estrategia educativa. Entre ellas, las que se plantea [6] en su conferencia de Gamificación, en uno de sus apartes, “La Gamificación es una técnica de aprendizaje que traslada la mecánica de los juegos al ámbito educativo-profesional con el fin de conseguir mejores resultados, ya sea para absorber mejor algunos conocimientos, mejorar alguna habilidad, o bien recompensar acciones concretas, entre otros muchos objetivos” y en este sentido es importante mencionar a [7] donde se pectos a tener encuentra cunado se utiliza la gamificación en la Educación, entre las cuales se destacan: “cómo aplicar la gamificación, protocolos para diseñar o implementar la gamificación, plataformas de desarrollo, competencias que se pueden alcanzar con el desarrollo de los videojuegos”, entre otros.

III. EXPERIENCIAS DE ÉXITO

Lo que nace en los años 80's como una experiencia totalmente aislada, en la actualidad se ha convertido en una línea de trabajo muy interesante. En la Tabla 1 se presentan algunas de las experiencias que se encuentran en marcha en la actualidad:

TABLA I
EXPERIENCIAS EXITOSAS

ÍTEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	LINK
1	Kokori	Juego de Biología Celular, desarrollado en Chile.	http://www.kokori.cl/
2	<i>MinecraftEDU</i>	Versión del popular <i>Minecraf</i> dedicado a enseñar contenidos educativos.	http://education.minecraft.net/
3	<i>SimCityEDU</i>	Juego dedicado principalmente a aspectos a gobernar una ciudad por parte de los participantes del juego	http://www.glasslabgames.org/games/SC
4	<i>Hakitzu</i>	Juego de lucha para ganar batallas entre robots, para aprender a programar.	https://itunes.apple.com/es/app/hakitzu-elite-robot-hackers/id599976903?mt=8
5	Classcraft	Personalización de clases mediante un juego de roles.	http://www.classcraft.com/es/
6	<i>Dragon Box:</i>	Videojuego para enseñanza de álgebra.	http://dragonbox.com/
7	<i>Cap Odyssey</i>	Enseñanza de los principios de la economía agrícola.	http://www.capodyssey.eu/
8	<i>Simple Machines</i>	Juego para diseño de máquinas.	http://www.msichicago.org/play/simplemachines/

IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso investigativo enfoca su estudio al uso de los video juegos educativos (*game-based learning*) como estrategia de enseñanza aprendizaje al interior de los cursos de la Universidad. Partiendo de la revisión bibliográfica, con análisis de investigaciones realizadas desde diversas perspectivas, con base en conclusiones y demostraciones reales de experiencias exitosas, se puede vislumbrar una amalgama de posibilidades tecno-pedagógicas que, con el concurso de un enfoque multidisciplinar, permite el desarrollo de propuestas innovadoras que, sin lugar a dudas, pueden redundar en beneficio de la comunidad académica.

Desde este punto de vista, el proyecto parte de la indagación de la percepción que los estudiantes tienen sobre los videojuegos respondiendo a la pregunta orientadora formulada en el proyecto: “¿Cuál es la percepción que tienen los estudiantes de

educación superior sobre los videojuegos?” y para lo cual se planteó el objetivo específico “Indagar sobre la percepción que tienen los estudiantes de la Unad sobre los videojuegos”.

Por tanto y de acuerdo con la recopilación, clasificación y análisis de los datos obtenidos en dicha indagación, se podrá realizar un estudio para proponer una estrategia innovadora en los cursos académicos de la Unad, como Institución Universitaria que basa su campo de acción en su misión institucional que en algunos de sus apartes menciona: “fomentar y acompañar el aprendizaje autónomo para contribuir a la educación para todos a través de la modalidad abierta, a distancia y en ambientes virtuales de aprendizaje, con la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación” [8].

A. Alcance metodológico

La presente investigación tiene un alcance descriptivo de diseño no experimental, de corte

transversal con un enfoque meramente cuantitativo, que a través de mediciones numéricas busca cuantificar, reportar e indagar acerca de la percepción que los estudiantes de la Unad tienen sobre los videojuegos. Por tanto y con el fin de interpretar la información recopilada, se utiliza la estadística, presentando los resultados por medio de gráficas que aportan potencialmente mayor valor de análisis cuantitativo. Este enfoque es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos en la investigación para responder a la pregunta antes planteada, aplicable para cualquier campo de la investigación de las Ciencias Físico-Naturales. Se utiliza la encuesta como instrumento para recoger los datos, los cuales también incluyen la medición sistemática, y su análisis como característica relevante [9].

B. Estudio metodológico

El estudio metodológico se realizó en tres fases:

La Fase 1, correspondiente a la fase inicial de la investigación, consistió en la exploración y revisión bibliográfica acerca de los videojuegos como recurso educativo; se acompañó esta fase, con la observación directa de fuentes externas, como medio para familiarizarse con el tema. Esto permitió un acercamiento a la temática de los videojuegos, sus posibilidades, alcances y oportunidades de innovación y mejoramiento continuo.

En la Fase 2 se realizó el diseño y la aplicación del instrumento encuesta como medio para recolección de la información; seguido a este, se llevó a cabo el procesamiento, análisis e interpretación de los resultados obtenidos de la Fase 1.

En la Fase 3 se planteó el diseño e implementación de un videojuego, aplicado a un curso académico de la Universidad, tendiente a conocer el impacto que este tendría en el proceso formativo, así como, las conclusiones y recomendaciones que servirán como insumo para la innovación de los cursos académicos al interior de la Universidad.

C. Población y muestra

La muestra fue aleatoria, conformada por 407 estudiantes de un total aproximado de 60.000, ubicados en diferentes zonas geográficas del país y matriculados en diversos programas académicos ofertados por la Universidad. El margen de error fue del 5%, con un nivel de confianza del 96%.

D. Técnica de recolección de información

Se utilizó la encuesta como instrumento de recolección de información. Consistió en un cuestionario aplicado en línea, previamente elaborado y validado por la red académica y el equipo investigador, valorando aspectos como: univocidad (muy claro, resulta comprensible y presenta ambigüedades), pertinencia (muy pertinente, pertinente y poco pertinente) e importancia (muy importante, algo importante y poco importante); estos criterios se aplicaron tanto al cuestionario como al encabezado mismo, lo que permitió realizar varios ajustes y versiones al instrumento.

E. Análisis e interpretación de los resultados

A continuación, se presenta el análisis y la interpretación de los datos que arrojó la encuesta. Teniendo en cuenta la selección diversa de la muestra, se logró obtener una mirada global hacia la percepción de los videojuegos como recurso educativo.

Tiempo promedio que utiliza el computador en la semana Fig. 1.

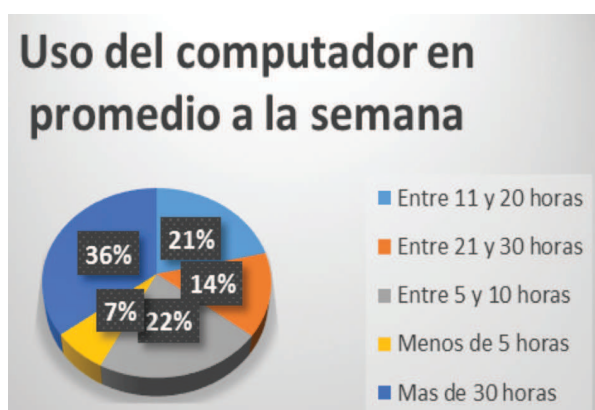


Fig. 1 Resultado del uso de computadora promedio por semana.

De los datos anteriores, se pudo establecer que los estudiantes de la Unad hacen uso de la computadora en un promedio de 20 horas a la semana, lo cual está por encima del promedio nacional que es de 14,35 horas de acuerdo con datos de [10] en su informe anual de tendencias, aclarando que solo se está haciendo el compartivo con uso de computador y no de otro dispositivo como Smartphone .

- De los siguientes dispositivos, en cuál usted tiene instalados videojuegos según Tabla 2 y Fig. 2:

TABLA II
ANÁLISIS DISPOSITIVOS CON VIDEO JUEGOS

DISPOSITIVO	CANTIDAD	ÍNDICE
Computador	51	11,0%
Computador, consola.	9	1,9%
Computador, móvil – celular.	78	16,8%
Computador, móvil - celular, consola.	22	4,8%
Computador, móvil - celular, móvil - tablet.	31	6,7%
Computador, móvil - celular, móvil - tablet, consola.	29	6,3%
Computador, móvil - tablet.	7	1,5%
Computador, móvil - tablet, consola.	3	0,6%
Consola	10	2,2%
Móvil - celular.	70	15,1%
Móvil - celular, consola.	7	1,5%
Móvil - celular, móvil - tablet.	19	4,1%
Móvil - celular, móvil - tablet, consola.	4	0,9%
Móvil - celular, no tengo juegos instalados.	2	0,4%
Móvil - tablet.	13	2,8%
Móvil - tablet, consola.	1	0,2%
No tengo juegos instalados.	107	23,1%

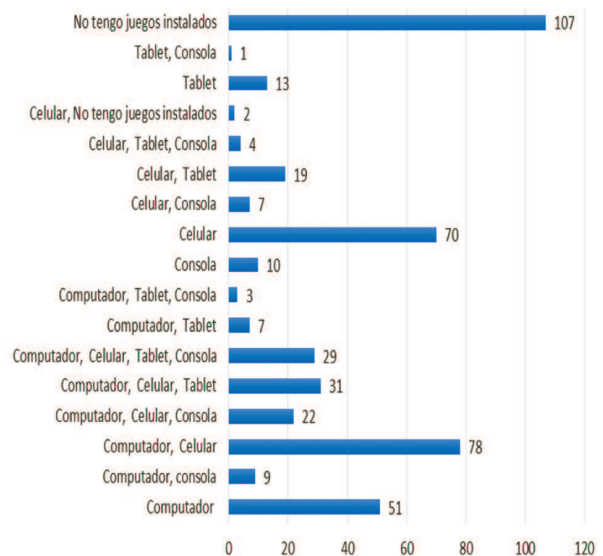


Fig. 2 Resultado tendencia de uso de dispositivos con videojuegos

En esta pregunta resulta interesante observar que un buen número de los estudiantes no tiene instalado videojuegos; sin embargo, el 77% de los encuestados afirma que sí los tiene instalados (Fig. 3) en alguno de los dispositivos, siendo la tendencia a instalarlos tanto en las computadoras como en sus celulares, lo que está en concordancia con el estudio publicado por [11], en el que se indica que el computador alcanza el 56.3 % y los móviles el 52,2%; sin embargo y con este mismo estudio, la tendencia puede cambiar hacia el uso de consolas y dispositivos móviles.



Fig. 3 Resultado de usuarios con videojuegos

- **Valoración general de los videojuegos.** Tabla 3 y Fig. 4.

TABLA III
VALORACIÓN GENERAL DE VIDEOJUEGOS

CALIFICACIÓN	CANTIDAD	ÍNDICE
Buenos	236	51,0%
Muy buenos	122	26,3%
Malos	13	2,8%
Muy malos	1	0,2%
Regulares	91	19,7%

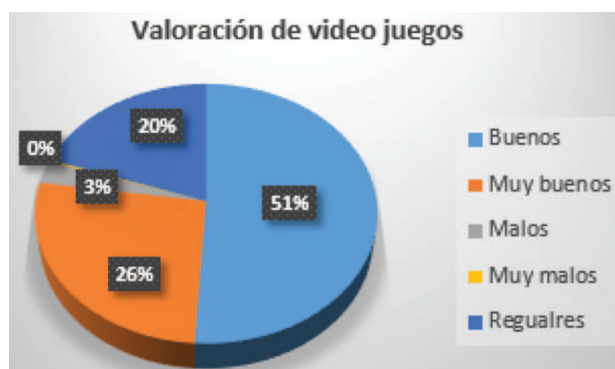


Fig. 4 Resultado valoración de videojuegos

Se observa, como una valoración general de los videojuegos, que la mayoría de los estudiantes de la universidad considera que son buenos.

- **Percepción del uso de videojuegos por sexo.** Según Tabla 4 y Fig. 5.

TABLA IV
PERCEPCIÓN DE USO DE VIDEOJUEGOS

INTENSIDAD DE USO	CANTIDAD	ÍNDICE
Hombres	455	98,3%
Mujeres	8	1,7%

Percepción de mayor uso de videojuegos

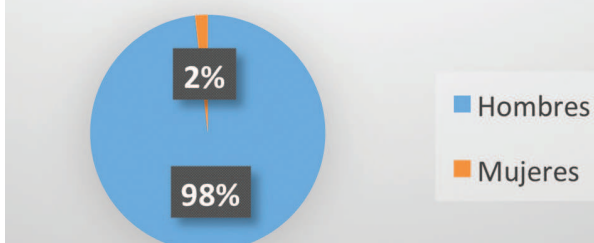


Fig. 5 Resultado percepción de uso de videojuegos

Los resultados obtenidos acerca de la percepción de mayor uso de videojuegos entre géneros indican que los encuestados piensan que los hombres los usan más; sin embargo y al contrastar con cada interrogante, se puede ver que tanto hombres como mujeres los utilizan, más aun, cuando el 40% de los estudiantes encuestados son mujeres. Esto se puede corroborar también con el estudio de [12], en el que se encuentra que los hombres solo superan a las mujeres en un 10%: “Esta estadística presenta la distribución de los jugadores de videojuegos en España durante el cuarto trimestre de 2014, por edad y género. Los hombres, con un porcentaje del 54%, superaron a las mujeres, con un 46%.”

- **Cantidad de horas promedio que dedican o podrían dedicar a los videojuegos.** Tabla 6 y Fig. 5.

TABLA VI
TIEMPO DEDICADO A LOS VIDEOS

INTENSIDAD DE USO	CANTIDAD	ÍNDICE
Cero horas.	122	26,3%
Entre 1 a 5 horas.	290	62,6%
Entre 6 a 10 horas.	50	10,8%
Entre 11 y 20 horas.	17	3,7%
Entre 21 y 30 horas.	1	0,2%
Más de 30 horas.	3	0,6%



Fig. 5 Resultado tiempo dedicado a los video juegos

Los datos arrojaron que el 60% de los encuestados dedica a los videojuegos entre 1 y 5 horas al día, muy por debajo del tiempo que los adolescentes pueden pasar jugando, el cual oscila entre 9 horas al día según estudio publicado por [13]

- ¿Si tiene oportunidad de jugar, permanece todo el tiempo en el mismo juego? Tabla 7 y Fig. 6.

TABLA VII
PERMANENCIA EN EL JUEGO

CRITERIO	CANTIDAD	ÍNDICE
Sí	172	37,1%
No	206	44,5%
No juego.	85	18,4%



Fig. 6 Resultado permanencia en el juego

El comportamiento para los estudiantes de la Universidad en cuanto a la permanencia, indica que el 44% prefiere cambiar de juego con alguna frecuencia.

- ¿Prefiere jugar acompañado o solo?

Tabla 8 y Fig. 7.

TABLA VIII
PREFERENCIA POR JUGAR

CRITERIO	CANTIDAD	ÍNDICE
Acompañado	228	49,2%
Solo	235	50,8%



Fig. 7 Resultado preferencia por jugar

En relación con la preferencia de los encuestados de estar solos o acompañados al momento de jugar, se encontró que el 49% prefiere estar acompañado, mientras que el 51% prefiere estar solo, lo que es interesante, dado que otros estudios, como el de [14] permite determinar que en Brasil también las personas que juegan prefieren hacerlo solas (42%); sin embargo, un alto porcentaje afirma que es más divertido jugar acompañado.

- Tipos de juegos que más le llaman la atención según Tabla 9.

TABLA IX
 TIPOS DE JUEGOS

TIPOS DE JUEGOS	CANTIDAD	ÍNDICE
Juegos de estrategia (aventuras gráficas, rol y guerra).	111	24,0%
Juegos de simulación (instrumentales, situacionales y deportivos).	75	16,2%
Juegos de simulación (instrumentales, situacionales y deportivos). Juegos de estrategia (aventuras gráficas, rol y guerra).	31	6,7%
Jugo de arcade (plataformas, laberintos, deportivos, dispara y olvida).	94	20,3%
Jugo de arcade (plataformas, laberintos, deportivos, dispara y olvida). Juegos de estrategia (aventuras gráficas, rol y guerra).	52	11,2%
Jugo de arcade (plataformas, laberintos, deportivos, dispara y olvida). Juegos de simulación (instrumentales, situacionales y deportivos).	23	5,0%
Jugo de arcade (plataformas, laberintos, deportivos, dispara y olvida). Juegos de simulación (instrumentales, situacionales y deportivos). Juegos de estrategia (aventuras).	40	8,6%

Se puede apreciar que a los estudiantes de la Universidad les interesan mucho los juegos de estrategias (aventuras gráficas, rol y guerra).

- **Temáticas que prefieren en los videojuegos.**
 Tabla 10 y Fig. 8.

 TABLA X
 TEMÁTICAS EN LOS VIDEOJUEGOS

TEMÁTICAS	CANTIDAD	ÍNDICE
De violencia, deportivos, educativos, temas generales.	71	15,3%
Deportivos, educativos, temas generales.	130	28,1%
Educativos, temas generales.	133	28,7%
Temas generales.	112	24,2%

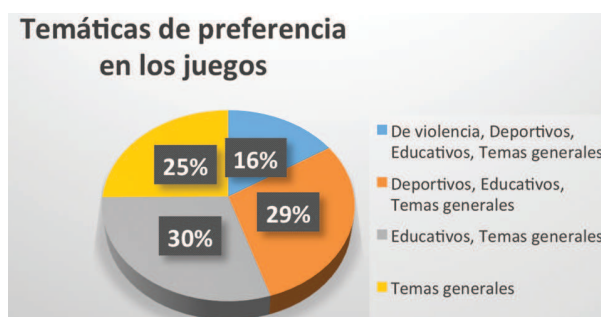


Fig. 8 Resultado tipo de juegos que le llaman la atención.

Contrastando este ítem con el anterior, es interesante observar, que al dirigir la pregunta de la consulta de forma más específica, se encuentra una mayor tendencia hacia los juegos educativos.

Es así, como los resultados arrojan que el 30% prefiere temas educativos y generales, mientras que el 16% tiene preferencia por los juegos de temáticas de violencia o acción. En este sentido, los estudiantes de la Unad no están inclinados con los juegos de acción como lo muestra el estudio de [15] (dirigido a los españoles), en el que el 62,7% se inclina por estos últimos.

- **Habilidades que desarrolla el videojuego.**
 Tabla 11 y Fig. 9.

TABLA XI
HABILIDADES EN LOS VIDEOJUEGOS

HABILIDADES	CANTIDAD	ÍNDICE
Analíticas, toma de decisiones, resolución de problemas.	9	1,9%
Asimilación y retención de la información.	36	7,8%
Atención, asimilación y retención de la información.	117	25,3%
Creativas, analíticas, metacognitivas (aprender a aprender).	22	4,8%
Metacognitivas (aprender a aprender).	10	2,2%
Para la búsqueda de la información.	6	1,3%
Psicomotrices, atención, creativas.	245	52,9%
Resolución de problemas.	6	1,3%
Toma de decisiones.	8	1,7%



Fig. 9 Resultado habilidades que desarrollan los videojuegos.

Al indagar sobre la opinión que tienen los encuestados acerca de las habilidades que desarrollan los videojuegos, el 52,9% considera que desarrolla habilidades psicomotrices, de atención y creatividad, lo que está muy ligado al estudio publicado en [16], en el que se encuestaron a 2.876 personas de todas las edades y se encontró que: “Además los videojuegos potenciarían habilidades como el liderazgo, ya que más de la mitad de los menores de 35 años encuestados afirmaron haberlo potenciado, y por otro lado la capacidad de superación: un 53,62 por ciento aseguró que los videojuegos han influido mucho en la mejora de esta característica.”

- ¿Para qué considera que sirven los videojuegos? Tabla 12 y Fig. 10.

TABLA XII
UTILIDAD DE LOS VIDEOJUEGOS

UTILIDAD DE LOS JUEGOS	CANTIDAD	ÍNDICE
Ayudar a relacionarse con otras personas, pasar el tiempo, ejercicio mental.	20	4,3%
Conseguir objetivos educativos.	39	8,4%
Desestresarse	3	0,6%
Ejercicios mentales.	3	0,6%
Mejora la auto estima.	3	0,6%
Mejorar el aprendizaje.	32	6,9%
Motivar, alcanzar objetivos educativos, pasar el tiempo, mejorar el aprendizaje.	245	52,9%
Pasar el tiempo.	117	25,3%



Fig. 10 Resultado utilidad de los Videojuegos

De acuerdo con la percepción de los encuestados frente a la utilidad de los videojuegos, se encontró que el 53% piensa que sirven para motivar y alcanzar objetivos educativos. En este sentido y aprovechando esta percepción de los estudiantes sobre este punto específicamente, se pueden potenciar los cursos de la Unad.

- ¿Por qué son atractivos los videojuegos? Tabla 13 y Fig. 11.

TABLA XIII
 ATRACTIVO DE LOS VIDEOJUEGOS

PERCEPCIÓN	CANTIDAD	ÍNDICE
Permiten analizar y pensar.	1	0,2%
Diversión	1	0,2%
Vicio	1	0,2%
Entretienen y enseñan.	1	0,2%
Es una forma visual y didáctica de aprendizaje.	1	0,2%
Existe una meta que se debe alcanzar.	400	86,4%
Permiten un recuento automático de puntos.	8	1,7%
Por el azar.	3	0,6%
Tienen imágenes visuales en movimiento.	44	9,5%

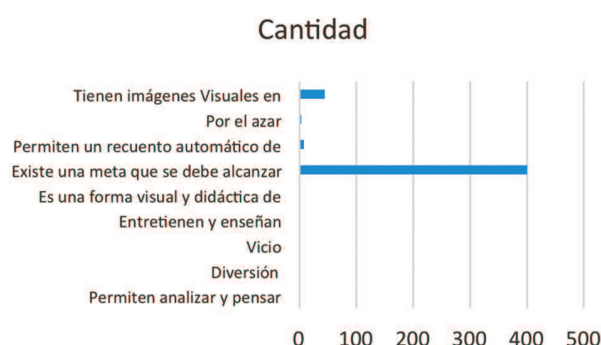


Fig. 11 Resultado de lo atractivo de los videojuegos

El 85% de los estudiantes de la Unad, considera que lo atractivo de los juegos se centra en que existe una meta por alcanzar. Esto puede tener una explicación interesante, de acuerdo con lo planteado por [17], psicólogo e investigador de la cultura digital, quien manifiesta que “la mayor o menor adicción que provoca un videojuego también tiene que ver con cómo escalona las recompensas y las correspondientes frustraciones. Los juegos no atrapan por diversión, sino por su estructura, porque te plantean hacer determinadas cosas que son asequibles pero que a la vez entrañan ciertas complicaciones, y cada vez que fallas o ves que puedes mejorar y hacerlo más rápido se crea un desequilibrio que buscas equilibrar rápidamente, jugando de nuevo.”

- ¿Los cursos de la Unad deberían introducir videojuegos en sus temáticas? Tabla 14 y Fig. 12.

TABLA XIV
 INCLUSIÓN DE VIDEOJUEGOS EN CURSOS

DECISIÓN	CANTIDAD	ÍNDICE
Sí	401	86,6%
No	62	13,4%

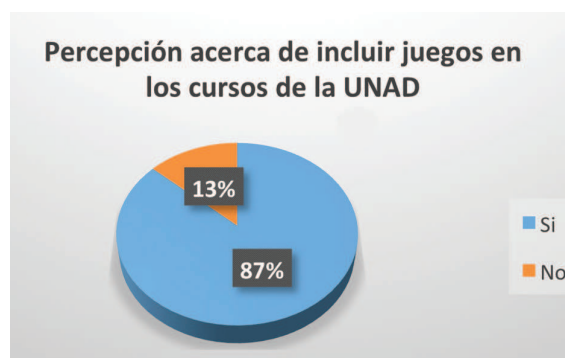


Fig. 12 Resultado inclusión de videojuegos en cursos de la Unad

Al consultar a los estudiantes sobre el incluir videojuegos en los cursos de la Universidad, el resultado fue arrollador: un 87% está a favor de que se considere esta posibilidad.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

De acuerdo con los resultados obtenidos en la encuesta, se puede concluir que los estudiantes de la Unad:

- Utilizan el computador en un promedio por arriba de la tasa media nacional.
- Sí tienen instalados videojuegos en alguno de sus dispositivos tecnológicos.
- Consideran en términos generales que los videojuegos son buenos, sin una especificación de tipo de juego, da la sensación que para los estudiantes de la universidad asumen los juegos desde el contexto educativos

- Tienen una percepción errada en el sentido de que los hombres son los que hacen mayor uso de los videojuegos.
- Tienen una alta posibilidad de engancharse con videojuegos, dedicando más de una hora al día a estos.
- No les llama mucho la atención permanecer tanto tiempo en el mismo juego, lo que con lleva a pensar en una buena estrategia de motivación, en el caso de que se implementen juegos para los cursos de la Universidad.
- Muy por debajo de lo que se esperaba, les gusta jugar de manera acompañada o interactuar con los juegos.
- En relación con los tipos de juegos que les llama la atención, les gusta los juegos de acción y los educativos, lo que permite idear juegos de acción educativos.
- Perciben que los juegos los motivan a superar retos.
- Están muy de acuerdo en que los videojuegos sean incluidos en los cursos.

Con base en estos resultados, es importante para el grupo elaborar ya la estrategia de la construcción de un video juego que cumpla con muchas de las características mencionadas por los usuarios.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los datos obtenidos se recomienda a los funcionarios que trabajan en el diseño tecnopedagógico de la universidad, dar una mirada a este tipo de recurso y proponer dar las bases para la construcción o utilización de los videojuegos en los cursos académicos.

Según lo indagado en las encuestas, los estudiantes de la universidad le llaman la atención que

en sus cursos existirá este tipo de recursos y en este sentido es importante continuar con este tipo de proyectos para tener productos propios y mostrables a la comunidad académica.

El trabajo de diseño y construcción de un video juego involucra muchos actores: diseñadores, programadores y productores de sonido, entre otros, con el fin de elaborar productos de buena calidad, a la altura de instituciones como la Unad.

Invitar a la comunidad académica a diseñar y utilizar recursos como los juegos como estrategia innovadora que motiven a los estudiantes a la continuidad en la universidad

REFERENCIAS

- [1] A. Iglesias, «ticbeat,» 6 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.ticbeat.com/cyborgcultura/videojuegos-la-industria-multimillonaria-detras-del-mayor-entretenimiento-del-planeta/>. [Último acceso: 30 Mayo 2016].
- [2] M. Prensky, «ACM,» 1 Octubre 2003. [En línea]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=950596>. [Último acceso: 20 Noviembre 2015].
- [3] EAE Business Scholl, «eae,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eae.es/actualidad/noticias/el-mercado-del-videojuego-en-espana-movio-763-millones-de-en-2014-con-un-crecimiento-del-31-respecto-al-2013>.
- [4] newzoo, «newzoo,» 2015. [En línea]. Available: <https://newzoo.com/insights/trend-reports/>.
- [5] C. Echavarria, «vice,» 23 Julio 2015. [En línea]. Available: http://www.vice.com/es_co/read/videojuegos-made-in-colombia. [Último acceso: Mayo 2016].
- [6] E. Garcia, «CongresoElearning,» 18 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://www.congresoellearning.org/profiles/blogs/preguntas-conferencia-gamificaci-n-y-educaci-n-1>. [Último acceso: 23 Mayo 2016].
- [7] V. Gaitán, «Educativa,» 15 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.educativa.com/blog-articulos/gamificacion-el-aprendizaje-divertido/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2015].
- [8] UNAD, «UNAD,» 12 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://informacion.unad.edu.co/acerca-de-la-unad/mision-y-vision>. [Último acceso: 30 Mayo 2016].
- [9] R. Hernández, Metodología de la Investigación, Mexico: McGraw Hill, 2004.
- [10] M. Meeker, «KPCB,» Enero 2016. [En línea]. Available: http://www.kpcb.com/internet-trends?utm_content=buffer14592&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer.

- [11] Economía Digital, «Expansion,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2016/01/28/56aa4fd3ca4741e82e8b463c.html>.
- [12] Statista, «statista,» 2014. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/481369/jugadores-de-videojuegos-en-espana-por-edad-y-genero/>.
- [13] CNN, «cnnespanol,» 2015. [En línea]. Available: <http://cnnespanol.cnn.com/2015/11/03/los-adolescentes-pasan-9-horas-al-dia-usando-los-medios-segun-informe/>.
- [14] Fundación Telefonica, «Adiccionvideojuegos,» 2014. [En línea]. Available: <https://adiccionvideojuegos.wordpress.com/tag/estadisticas/>.
- [15] GrupAd Hoc, «slideplayer,» 2015. [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/1436871/>.
- [16] Ediciones el País, «tecnología el país,» 2013. [En línea]. Available: http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2005/12/22/actualidad/1135243680_850215.html.
- [17] R. Balaguer, «lavanguardia,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.lavanguardia.com/estilos-de-vida/20120629/54317381414/por-que-enganchan-los-videojuegos.html>.

MEDICIÓN DE LA MADUREZ DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE LA UNAD

MEASUREMENT OF THE MATURITY OF KNOWLEDGE MANAGEMENT IN THE BASIC SCIENCES TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCHOOL OF UNAD



¹Luis Montañez Carrillo, ²Jenny Paola Lis Gutiérrez

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Bogotá, Colombia.

²Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Centro de Investigaciones de la Escuela de Negocios, Bogotá, Colombia.

¹luis.montanez@unad.edu.co

²jenny.lis@konradlorenz.edu.co

Recibido: 01/09/2015 • Aprobado: 12/11/2015

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es medir la madurez de la Gestión del Conocimiento en la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Unad (Colombia). Para este propósito, se adaptó el modelo denominado General Knowledge Management Maturity Model (G-KMMM) [1], el cual propone 5 niveles de madurez: inicial, conciencia, definido, gestionado y optimizado, y establece 3 áreas clave: personas, procesos y tecnología. La modificación del modelo consistió en adicionar un área clave denominada estrategia. Para el estudio se aplicó un instrumento de evaluación que proporciona el modelo G-KMMM, a 307 colaboradores de la ECBTI. En relación con los resultados se encontró que el nivel de madurez del área clave personas era 2 (conciencia), del área clave procesos era 3 (definido), del área clave tecnología era 5 (optimizado) y del área clave estrategia era 5 (optimizado). Con respecto al nivel de madurez de GC global de la ECBTI se encontró que era 4 (gestionado).

Palabras clave: gestión del conocimiento, modelos de madurez, niveles de madurez, educación, instituciones de educación superior.

ABSTRACT

The objective of this study is to measure the maturity of Knowledge Management in the Basic Sciences, Technology and Engineering School (ECBTI) of the Open and Distance National University (UNAD, Colombia). For this purpose, it was adapted the model called General Knowledge Management Maturity Model (G-KMMM) [1], which offers 5 levels of maturity: initial, conscience, defined, managed and optimized, and sets 3 key areas:

people, processes and technology. The modification of the model consisted of adding a key area named strategy. For the study it was applied an assessment tool that provides the model G-KMMM, to 307 collaborators of the ECBTI. In relation to the results, it was found that the level of maturity of the key area people was 2 (consciousness), of the key area processes was 3 (defined), of the key area technology was 5 (optimized) and of the key area strategy was 5 (optimized). With regard to the global maturity level of ECBTI, it was found to be 4 (managed).

Keywords: education, knowledge management, maturity levels, maturity models.



I. INTRODUCCIÓN

Este artículo tiene como propósito presentar un estudio que se llevó a cabo para medir la madurez de la Gestión del Conocimiento (GC) en la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad). Para la realización de la medición se adaptó el modelo de madurez de GC denominado *General Knowledge Management Maturity Model (G-KMMM)* [1]. A las tres áreas clave del modelo (personas, procesos y tecnología), se le adicionó una cuarta: estrategia, lo que permitió realizar la medición de madurez de manera agregada y específica para las áreas anteriormente mencionadas.

Inicialmente, es importante indicar que en el presente trabajo de investigación, el conocimiento se concibe como el producto de las experiencias, habilidades y aprendizaje de un individuo para realizar una acción de manera eficiente. En cuanto al contexto organizacional, el conocimiento se constituye como información que brinda la posibilidad de generar acciones que contribuyen al desarrollo de la organización. Por otra parte, la Gestión del Conocimiento se entiende como el proceso mediante el cual se crea, captura, transforma y usa el conocimiento orientado al desarrollo organizacional y a la creación de ventajas competitivas. La Gestión del Conocimiento en el contexto de las Instituciones de Educación Superior se concibe como el proceso a través del cual se crea, adquiere, procesa, conserva, transmite y transfiere el conocimiento, mediante la articulación de la docencia, la investigación y la extensión con el fin de formar profesionales que posean el conocimiento para atender las necesidades sociales, científicas y técnicas de la sociedad.

En cuanto a los modelos de madurez de GC, se comprenden como mecanismos que permiten medir y comparar las iniciativas que emprende una organización en aras de gestionar el conocimiento que en ella se crea. Estos modelos permiten tanto establecer el estado actual en el que se encuentra una organización en materia de GC como generar una ruta para mejorar ese estado actual. En esta medida se establecen como guías para la implementación de la GC en etapas y contemplan el tránsito gradual de un estado inicial hasta uno óptimo.

En relación con el modelo de madurez seleccionado para realizar el diagnóstico, es decir, el modelo G-KMMM, cabe señalar que define 3 áreas clave que agrupan las capacidades y prácticas de GC que desarrolla una organización. Las 3 áreas clave que propone el modelo son: personas (comportamientos, habilidades, sistemas de incentivos y estructura organizacional que existe para crear y compartir el conocimiento), procesos (como se crea, almacena, comparte y usa el conocimiento) y tecnología (sistema empleado para el intercambio de conocimiento). Como se mencionó anteriormente, en este trabajo de investigación se implementó un área clave denominada estrategia, debido a que se requería conocer cómo se alinean los esfuerzos de la GC con los focos estratégicos de la ECBTI, considerando que el conocimiento es un recurso intangible que tiene un gran valor para las Instituciones de Educación Superior.

Adicionalmente, el modelo propone 5 niveles de madurez que categorizan los distintos estados en materia de GC de cada una de las áreas clave. Los

niveles de madurez de GC del modelo G-KMMM son: **inicial**, conciencia, definido, gestionado/establecido y optimizado. En el nivel inicial, la organización tiene poca (o ninguna) intención de usar el conocimiento; en el nivel **conciencia**, la organización es consciente y tiene la intención de GC pero posiblemente no sepa cómo; en el nivel **definido**, la organización ha puesto en marcha una infraestructura básica que soporta la GC; en el nivel **gestionado/establecido**, las iniciativas de GC están plenamente establecidas en la organización y en el nivel **optimizado**, la GC está plenamente integrada a la organización y sometida a procesos de mejoramiento continuo.

Ahora bien, la Unad es un ente universitario autónomo del orden nacional, con régimen especial, personería jurídica, autonomía académica, administrativa y financiera, patrimonio independiente y capacidad para gobernarse [2]. La misión de esta Universidad es contribuir a la educación para todos a través de la modalidad abierta y a distancia y en ambientes virtuales de aprendizaje. Utiliza las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) para fomentar y acompañar el aprendizaje autónomo. Cuenta con más de 60 centros de formación distribuidos en todo el territorio de Colombia, por lo cual una gran cantidad de sus programas de formación tienen cobertura nacional [3]. A partir del año 2008, la Unad implementó el Sistema Integrado de Gestión (SIG), el cual tiene como objetivo impulsar la GC y la innovación a partir del incentivo a la producción intelectual con calidad y pertinencia [4].

En el marco de los ámbitos de actuación y contextos para la formación del estudiante, la Unad cuenta con Escuelas, las cuales cumplen funciones equivalentes a las de las Facultades en otras Instituciones de Educación Superior: gestionan los procesos académicos correspondientes a los programas de formación de la Universidad (de acuerdo con la disciplina o campo de conocimiento); diseñan, desarrollan, validan y actualizan los planes curriculares de los programas; aplican las políticas, directrices y estrategias definidas para la consolidación académica; coordinan los planes, programas y proyectos y lideran la función investigativa, entre otras.

La Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) contaba en el primer semestre de 2016 con una población de 570 personas distribuidas en todo el territorio nacional y más de 13.000 estudiantes matriculados en 15 programas de pregrado y posgrado [5]. Esta Escuela hace uso de las TIC para gestionar el conocimiento tanto académico como organizacional que se crea en cada uno de los centros de formación en el ámbito nacional. De acuerdo con [6], las TIC permiten inventariar y acumular el conocimiento que se desarrolla para su posterior utilización, ofrecen herramientas que permiten acercarse al conocimiento, facilitan la comunicación y proporcionan un medio para la generación de nuevos conocimientos.

En este orden de ideas, en IES como en la Unad donde se ha planteado como objetivo impulsar la Gestión del Conocimiento (GC) y la innovación, se hace necesario desarrollar investigaciones que permitan conocer en qué estado se encuentran las Escuelas en materia de madurez de Gestión de Conocimiento. Esto con el fin de que en posteriores estudios se propongan planes de mejoramiento que permitan mejorar su nivel de madurez.

Por ello, el objetivo general de la presente investigación es diagnosticar la madurez de la GC en la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI de la Unad. En relación con los objetivos específicos se pretende:

- Realizar una revisión documental sistemática sobre los modelos para medir la madurez de GC.
- Elaborar un análisis comparativo para la selección de un modelo para medir la madurez de GC que pueda ser aplicado en la ECBTI.
- Identificar el nivel de madurez de GC tanto global como por áreas clave de la ECBTI.

En cuanto a la metodología, se trata de una investigación descriptiva y evaluativa que se elaboró mediante un enfoque cuantitativo. Para esto último, se realizó la medición de la madurez de la GC a través de un instrumento tipo encuesta que proporcionó el modelo G-KMMM, el cual define cinco

(5) niveles de madurez (inicial, conciencia, definido, gestionado y optimizado) y tres (3) áreas clave (personas, procesos y tecnología). Para complementar el diagnóstico se implementó en este trabajo el área clave estrategia, que permitió comprender la forma como se alinean los esfuerzos de la GC con los focos estratégicos de la ECBTI [7].

La encuesta se aplicó mediante un formulario de Google y se envió por el correo institucional de la Unad a la población de la ECBTI conformada por 570 personas. La muestra obtenida en el diligenciamiento del instrumento fue de 307 personas. Posteriormente, se analizó la información obtenida y se identificó el nivel de madurez de la ECBTI tanto de manera global como por áreas clave.

II. MARCO DE REFERENCIA

En este apartado se presenta una revisión de la literatura que aborda el concepto de GC y de los modelos de madurez de GC.

A. Gestión del conocimiento (gc)

De acuerdo con [8], la GC es un conjunto de procesos sistemáticos en los que se identifica, capta, trata, desarrolla, comparte y se utiliza el conocimiento, para ser orientado al desarrollo organizacional y a la generación de una ventaja competitiva para la organización.

Para [9], la GC incorpora procesos sistemáticos para encontrar, seleccionar, organizar y presentar la información de tal manera que mejore tanto la comprensión de los empleados como el uso de los bienes de la compañía. Por su parte, [10] establecieron que la GC, como su nombre lo indica, gestiona la creación, captura, transformación y uso del conocimiento; su principal función es planificar, implementar, operar y administrar las actividades intrínsecas del conocimiento y los programas requeridos para la gestión efectiva del capital intelectual.

[11] afirmaron que la GC se puede concebir como una forma de dirección encaminada a la

maximización del rendimiento del capital intelectual de una organización. Los autores mencionan que el capital intelectual se refiere al conjunto de competencias organizacionales distintivas, de carácter intangible, que brindan la posibilidad de crear ventajas para la obtención de presupuestos a través de la colaboración y compromiso de los miembros de la organización y el uso de procesos en la producción, transmisión y transferencia de un conocimiento innovador.

B. Las instituciones de educación superior (ies) y la gc

Una diferencia fundamental entre las organizaciones del sector productivo y las IES, radica en que las primeras se preocupan principalmente por la gestión humana y de recursos. Por el contrario, en las IES la preocupación gira en torno a modelos de conocimiento; las IES crean conocimiento, forman profesionales y transfieren conocimientos científicos o técnicos que permiten resolver problemas y satisfacer las necesidades de la sociedad. Asimismo, dividen los saberes con base en criterios teóricos o del ámbito profesional y se someten a múltiples evaluaciones para certificar el proceso de transmisión de conocimientos que se lleva a cabo [12], [13].

Las IES tienen entonces múltiples retos en la sociedad del conocimiento: renovar los sistemas económicos y sociales, ampliar el conocimiento y las habilidades, participar efectivamente en la producción de conocimiento, tener una relación directa con el sector productivo, los centros de investigación y otras instituciones, además de brindar a la sociedad profesionales de primer nivel. Las universidades se conciben como el principal instrumento de la sociedad para la constante búsqueda del conocimiento [14], [15], [16].

[17] estableció que las IES se presentan como sistemas sociales en los cuales se crea, adquiere, procesa, conserva, transmite y transfiere el conocimiento. Lo anterior, mediante estructuras complejas que articulan la docencia, la investigación y la extensión con el fin de formar ciudadanos que posean el conocimiento para desempeñarse profesionalmente en diferentes disciplinas y que sean capaces de resolver problemas sociales, científicos

y técnicos que se presentan en la sociedad. En este orden de ideas, en las IES es posible encontrar que:

- La reproducción del conocimiento se efectúa a través de la docencia, la investigación y la extensión.
- Las IES invierten en formación y desarrollo de su personal (formación continua).
- El conocimiento está en las personas.
- La mayoría de las personas no tienen contabilizado su conocimiento ni su capital intelectual.

En esta medida, la GC en las Instituciones de Educación Superior pretende integrar los recursos humanos, procesos académicos y avances tecnológicos involucrados en el diseño, la captura y ejecución de la infraestructura intelectual de una institución educativa. El enfoque se apoya en la elaboración y la gestión académica para aprender manteniendo el equilibrio entre las diversas entidades en un medio ambiente académico [10].

Según [18], para que las universidades puedan mejorar los procesos de GC, deben entender inicialmente lo que constituye el conocimiento, es decir, lo que deben gestionar. Luego se debe evaluar la situación actual de la GC lo cual debe considerarse como un punto de partida. La evaluación es el primer paso hacia la mejora; no se puede mejorar lo que no se puede medir bien sea de manera formal o informal. De allí, la importancia del presente trabajo.

C. Modelos de madurez de gestión del conocimiento (mmgc)

Los Modelos de Madurez de Gestión de Conocimiento (MMGC) se basan en la necesidad de tener una hoja de ruta para cualquier organización que comienza a implementar la GC. Brindan una visión clara con una descripción del camino por seguir. Un MMGC puede proporcionar una comprensión común de los términos y elementos involucrados en la implementación de GC [19].

Desde el punto de vista de [7], en las últimas dos décadas, el conocimiento ha empezado a tener más

importancia en el ámbito empresarial, debido a que es el recurso que mayor incidencia tiene sobre el desempeño organizacional y la creación de ventajas competitivas. A partir de esta premisa, autores como Paulzen, Doumi, Perc & Cereijo-Roibas a principios del siglo XXI empezaron a articular la GC con los modelos de madurez que surgieron de la ingeniería de software y, de este modo, se estructuraron las primeras guías para la implementación de la GC en etapas, que contemplan el tránsito gradual de un estado inicial hasta uno óptimo. La estructura básica de los MMGC desde la perspectiva de [7] es la siguiente:

- Áreas clave. Agrupan las capacidades y prácticas de GC que desarrolla una organización, de acuerdo con la articulación que tengan con elementos como la tecnología, la cultura y los procesos, entre otros.
- Escala de madurez. Regularmente, los modelos de este tipo constan de 5 niveles que indican los distintos estados de las capacidades y prácticas en materia de GC, partiendo de un nivel principiante hasta llegar a un máximo de desarrollo y consolidación de la organización.

III. METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología, se trata de una investigación descriptiva que se elaboró mediante un enfoque cuantitativo. En materia del diseño de investigación, se definieron una serie de etapas concebidas para responder a la pregunta de investigación y alcanzar los objetivos planteados. En la primera etapa denominada *Estado del arte* se realizó una revisión de la literatura en el ámbito académico en materia de modelos para medir la madurez de GC, por medio de búsquedas en bases de datos académicas tanto estructuradas como no estructuradas, de trabajos de investigación y artículos sobre el tema objeto de estudio. Dentro de la revisión de literatura realizada en regiones como América del Norte, América Latina, Europa, Asia y África, se encontraron 24 modelos para medir la madurez de GC en organizaciones. En la tabla 1 se presenta una relación de dichos modelos:

TABLA I.
MODELOS PARA MEDIR LA MADUREZ DE GC
ENCONTRADOS EN EL ESTADO DEL ARTE

MODELO	AUTOR(ES)	AÑO
<i>Knowledge Process Quality Model (KPQM).</i>	Paulzen, Doumi, Perc & Cereijo-Roibas	2002
<i>Organizational Self-Assessment of Knowledge Management Maturity.</i>	Kulkarni & St Louis	2003
Diagnóstico de la gestión de conocimiento en una empresa grande de Barranquilla (Colombia).	González, Castro & Roncallo	2004
<i>Strategic knowledge management maturity model.</i>	Snyman & Kruger	2005
<i>A Knowledge Management Maturity Model and Application.</i>	Feng	2006
<i>Gartner: A Knowledge Management Maturity Model Explains Where You 're Going and How to Get There.</i>	Harris	2006
Modelo general de madurez de GC (G-KMMM)	Teah, Pee & Kankanhalli	2006
<i>The Support Center Maturity Model.</i>	Joslin	2007
<i>Knowledge management profile maturity model.</i>	Gaál, Szabó, Kovács, Obermayer-Kovács & Csepregi	2008
<i>Knowledge navigator model (KNM).</i>	Hsieh, Lin & Lin	2009
<i>Karagabi KM Model.</i>	González, Joaquí & Collazos	2009
Estudios de caso sobre la GC en cuatro organizaciones colombianas líderes en penetración de mercado.	Briceño & Bernal	2010
<i>Facilitating new knowledge creation and obtaining KM maturity.</i>	Arling & Chun	2011
<i>Knowledge Management Maturity Model: An Engineering Approach.</i>	Kuriakose, Raj, Satya Murty & Swaminathan	2011
KM3	Oliveira, Pedron, Romão & Becker	2011
Análisis de madurez de la gestión del capital intelectual en la pequeña y mediana empresa latinoamericana	Romero & Pascual	2011
La GC en Instituciones de Educación Superior (IES) de Medellín.	Uribe	2013
Análisis comparativo de los modelos de madurez de la GC en grandes empresas de Medellín-Colombia.	Durango & Pérez	2013
Metodología para evaluar la madurez de la GC en algunas grandes empresas colombianas.	Durango, Quintero & Ruiz	2013
Madurez de la GC y la gestión de procesos en empresas que utilizan la plataforma virtual Talentum.	Acuña, Gómez, & Pintor	2014
<i>Knowledge Management Maturity in Construction Companies.</i>	Wibowo & Waluyo	2015
<i>Knowledge Management Maturity Level in a Brazilian Air Force Flight Test Environment.</i>	Follador	2015
<i>Exploring knowledge management maturity from functionalist and interpretivist perspectives.</i>	Arias-Pérez & Durango-Yepes	2015
Construcción de un MMGC para una multinacional de alimentos de una economía emergente.	Arias-Pérez, Tavera-Mesías & Castaño-Serna	2016

Posteriormente, en la segunda etapa denominada *Selección del modelo para medir la madurez de GC* se llevó a cabo un análisis comparativo con los 24 modelos encontrados para seleccionar el más apropiado. En la elaboración del análisis comparativo se definieron una serie de criterios de comparación relacionados con el número de niveles de madurez del modelo, las áreas clave que establece, si define un instrumento de medición, la brevedad de dicho instrumento, el idioma del modelo, la complejidad para su aplicación, la adaptabilidad del modelo en diferentes contextos y su libre uso.

Con estos criterios de comparación se realizó el análisis para identificar las debilidades y fortalezas de los modelos encontrados en la revisión de literatura. En este orden de ideas, partiendo de dicho análisis, se procedió a desarrollar una evaluación de orden cuantitativa, para la selección del modelo, asignando una calificación de 0 a 1 a cada criterio. El modelo para medir la madurez de GC con mayor calificación fue el *Modelo general de madurez de GC* (G-KMMM) [1], el cual tuvo una puntuación de 7.

En este sentido, era el modelo con mayores fortalezas y mejores características para la realización del diagnóstico de madurez de GC en la ECBTI. Adicionalmente, vale la pena resaltar que el modelo G-KMMM ha sido un referente en materia de modelos de madurez de GC ya que se ha empleado como base para la construcción de una gran cantidad de modelos y metodologías tanto internacionales como nacionales, para medir la GC.

Una de las fortalezas más representativas del modelo G-KMMM, tiene que ver con el hecho de que se puede aplicar a diferentes objetos de análisis, incluidos la organización como conjunto y de manera individual para sus respectivas unidades. Adicionalmente, el modelo brinda una explicación muy detallada del instrumento de medición para proporcionar un enfoque sistemático y estructurado

que garantiza la transparencia del procedimiento de evaluación. Es importante señalar que el modelo G-KMMM adopta una estructura organizada y define claramente cada nivel de madurez y sus áreas clave, así como sus respectivas características [1].

De acuerdo con [20], el modelo G-KMMM propone tres áreas clave:

Personas y organización. Constituye la confianza (fe en las intenciones y comportamientos de la organización), las habilidades *T-shapped* (grado de comprensión de las tareas propias y de los demás), los sistemas de incentivos (recompensas económicas o simbólicas para motivar a los empleados a crear y compartir el conocimiento) y la estructura organizacional (procedimientos, políticas y estándares).

Procesos. Se refiere a la forma en cómo se crea (desarrollo de nuevos conocimientos y procedimientos), recopila (adquisición y registro de datos, información y conocimiento), comparte (intercambio de mejores prácticas) y usa el conocimiento (creación de valor para la organización).

Tecnología. Se concibe como el sistema que se emplea para el intercambio de conocimiento en toda la organización. Esta área clave está comprendida por los servicios de GC (aplicaciones que usa la empresa), la infraestructura tecnológica (inversión en TIC para soportar las actividades de GC) y actitud hacia las TIC (disposición de las personas frente a las tecnologías que apoyan las iniciativas de GC).

De acuerdo con [21], cada nivel de madurez está conformado por las 3 áreas clave y cada área clave está descrita por una serie de características comunes. Dichas características especifican las prácticas principales que cuando son direccionadas colectivamente, contribuyen a alcanzar los objetivos de un área clave. En la tabla 2 se presenta la estructura del modelo G-KMM.

TABLA II
ESTRUCTURA DEL MODELO G-KMMM DE TEAH, PEE & KANKANHALLI (2006) [20]

NIVEL DE MADUREZ	DESCRIPCIÓN	ÁREAS CLAVE		
		PERSONAS Y ORGANIZACIÓN	PROCESOS	TECNOLOGÍA
Inicial	Poca o ninguna intención de usar el conocimiento.	La organización no es consciente de la necesidad de GC.	No existen procesos formales para capturar, compartir y reutilizar el conocimiento.	Sin tecnologías o infraestructura de soporte u apoyo.
Conciencia	La organización es consciente y tiene la intención de GC, pero posiblemente no sepa cómo.	La organización está consciente de la necesidad de GC.	Se documentan los conocimientos indispensables para la realización de tareas respectivas.	Se han iniciado proyectos piloto de GC (no necesariamente por iniciativa de directivos).
Definido	La organización ha puesto en marcha una infraestructura básica que soporta la GC.	<ul style="list-style-type: none"> • Se proporciona formación básica sobre GC. • Se han activado los sistemas de incentivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se han formalizado los procesos para la gestión de contenidos e información. • Los sistemas de medición pueden ser usados para medir el incremento de la productividad por causa de GC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene instalada una infraestructura básica de GC (páginas amarillas). Se han puesto en marcha algunos proyectos de GC en algunos niveles de la pirámide organizacional.
Gestionado / establecido	Las iniciativas de GC están plenamente establecidas en la organización.	<ul style="list-style-type: none"> • La GC está normalizada a lo largo de la organización. • Formación avanzada en GC. • Estándares organizacionales. 	Medición cuantitativa de los procesos de GC (es decir, el uso de métricas).	<ul style="list-style-type: none"> • En toda la organización los sistemas de GC están funcionando plenamente. El uso de los sistemas de GC está en un nivel razonable. • Perfecta integración de la tecnología con la arquitectura de contenido.
Optimizado	La GC está plenamente integrada a la organización y sometida a procesos de mejoramiento continuo	La cultura de compartir está institucionalizada	<ul style="list-style-type: none"> • Los procesos de GC son revisados permanentemente y mejorados. Los actuales procesos de GC pueden ser fácilmente adaptados para satisfacer las nuevas necesidades. Los procedimientos de GC forman parte integral de la organización. 	La infraestructura actual de GC es mejorada continuamente.

Teniendo en cuenta que el modelo G-KMMM es del año 2006 y que dentro de la revisión de la literatura no se encontró alguna actualización del mismo, en este trabajo de investigación se implementó un área clave denominada estrategia que, de acuerdo con [7] permite alinear los esfuerzos de la GC con los focos estratégicos de la organización, principalmente con la innovación (que como se mencionó anteriormente se plantea como uno de los objetivos del SIG de la Unad). Estos mismos autores indican que esta área clave establece 3 capacidades de la GC:

Estrategia de GC. Está relacionada con la caracterización de áreas de conocimiento clave para el presente y el futuro de la organización.

Compromiso de directivos y recursos. Alude a la sostenibilidad de la estrategia de GC en la organización, la cual depende del convencimiento por parte de los líderes sobre los beneficios de la GC y de la asignación de los recursos requeridos para garantizar el despliegue de dicha estrategia a lo largo del tiempo.

Equipos de GC. Se refiere a la existencia de un equipo que lidera la estrategia de GC en sus inicios. Una vez implementada la estrategia de GC, este equipo debe desempeñar el papel de facilitador y orientar a los colaboradores para que logren empoderarse de la estrategia de GC.

TABLA III
 ESTRUCTURA DEL ÁREA CLAVE DE ESTRATEGIA

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Permite alinear los esfuerzos de la GC con los focos estratégicos, principalmente con la innovación.
1. Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Existen prácticas informales de GC. • Hay un compromiso inicial por parte de líderes con el proceso de GC. • No existe una persona o equipo que lidere la GC.
2. Conciencia	<ul style="list-style-type: none"> • La organización avanza en la formulación de una definición de GC que esté articulada con la estrategia. • El compromiso de los líderes con la GC conlleva a explorar la asignación de recursos para su implementación. • Existe una persona que acompaña parcialmente la implementación de la GC.
3. Definido	<ul style="list-style-type: none"> • Existe un vínculo entre la estrategia y la GC. Se han identificado áreas clave de conocimiento clave y se desarrollan prácticas que lo facilitan. • Los líderes facilitan los recursos necesarios para la implementación de las prácticas de GC. • Se designa un líder con la responsabilidad de implementar la estrategia de GC.
4. Gestionado / establecido	<ul style="list-style-type: none"> • Se monitorea el impacto de la GC mediante indicadores y se enfatizan las prácticas que desarrollan el conocimiento clave para el presente y futuro de cara a la estrategia. • Los líderes acompañan la evolución de la GC y los indicadores evidencian sus resultados. • Se consolida un equipo de trabajo que lidera la estrategia de GC, sistematiza y transfiere la experiencia en espacios internos y externos.
5. Optimizado	<ul style="list-style-type: none"> • La GC se ha convertido en un proceso estratégico, clave para todos los procesos, apalancando la innovación y la estrategia. • Los líderes tienen convencimiento pleno sobre la GC y su impacto sobre el futuro, lo que conduce a asegurar la sostenibilidad de la estrategia de GC. • Los colaboradores comprenden su rol en la GC y lo ejecutan con autonomía y compromiso apoyados por el equipo de la GC.

En la tercera etapa denominada *Aplicación del MMGC* se realizó la medición de la madurez de la GC. Una vez seleccionado el Modelo de madurez G-KMMM [1] para la realización del diagnóstico de madurez de GC en la ECBTI, se procedió a su aplicación en la población de esta Escuela, la cual estaba conformada en el primer semestre de 2016 por 570 personas (Decano, Secretario Académico, 565 docentes y 3 personas de apoyo administrativo).

Para la aplicación práctica del modelo G-KMMM, este propone un instrumento de evaluación denominado *KM Assessment Tool (KMAT)*. La herramienta de evaluación KMAT es una encuesta de diagnóstico (direccionada a colaboradores y directivos) que ayuda a una organización a determinar la eficacia de sus prácticas de GC [22].

El instrumento de evaluación *KMAT* fue implementado en un formulario de Google y enviado a toda la población de la ECBTI a través de la cuenta de correo institucional, cuyo dominio pertenece a Gmail. Cabe señalar que el instrumento se tradujo al español debido a que el modelo G-KMMM se encuentra disponible en inglés. Posteriormente, las preguntas traducidas se adaptaron al contexto de la ECBTI de la Unad. El instrumento de evaluación *KMAT* enviado, estaba compuesto por un total de 37 preguntas: 13 para el área clave personas, 6 para el área clave procesos, 6 para el área clave tecnología y 12 para el área clave estrategia.

Para que la población de la ECBTI respondiera el instrumento se empleó la escala de Likert con el objetivo de que las personas expresaran su grado de aprobación o desaprobación en cada pregunta a partir de las siguientes opciones: totalmente de acuerdo, de acuerdo, en desacuerdo, totalmente en desacuerdo y no sabe / no responde. Se realizó una prueba piloto del formulario para su validación con 10 profesionales de la ECBTI: 4 docentes ocasionales tiempo completo, 1 docente ocasional medio tiempo, 1 docente ocasional hora cátedra, 2 líderes de programa, 1 docente de planta y 1 persona del cuerpo administrativo. Estos profesionales diligenciaron el instrumento *KMAT* y lo realimentaron para su posterior aplicación a la población de la Escuela.

Hasta la fecha en la que el instrumento estuvo habilitado, se lograron un total de 307 encuestas diligenciadas. En este sentido, a través de la muestra alcanzada se obtuvo un nivel de confianza del 96.2% y un porcentaje de error del 3.8%. Cabe señalar que el nivel de confianza se refiere al nivel de certeza de los resultados y el margen de error está relacionado con el monto de error que el resultado obtenido debería tener [23].

El análisis realizado con los datos obtenidos mediante el instrumento de evaluación *KMAT*, consiste principalmente en las estadísticas descriptivas para cada pregunta; en este sentido, los resultados se presentan en relación con el porcentaje de respuesta de las opciones positivas (totalmente de acuerdo y de acuerdo), el porcentaje de respuestas negativas (en desacuerdo y totalmente en desacuerdo) y el porcentaje de respuestas “no sabe / no responde”.

Teniendo en cuenta, que de acuerdo con el instrumento de evaluación *KMAT*, en cada área clave se propone más de una pregunta para algunos niveles, se definió asignar una ponderación para las preguntas.

Posteriormente, a partir del nivel que tuvo el mayor porcentaje de las respuestas positivas (totalmente de acuerdo y de acuerdo), se estableció el nivel de madurez para cada área clave, siguiendo el análisis de resultados del artículo de [18].

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En relación con el área clave personas, en la tabla 4 se presentan los porcentajes obtenidos en cada una de las opciones de respuesta. Con base en estos porcentajes se elaboró una gráfica de tipo radar para identificar el nivel de madurez de esta área clave (Fig. 1). A partir de ella, se infiere que el mayor porcentaje de respuestas positivas (totalmente de acuerdo y de acuerdo) se presentó en el nivel 2 (conciencia), lo que significa que este es el nivel de madurez del área clave personas. En este

orden de ideas la ECBTI de la Unad es consciente de la necesidad de la GC para el desarrollo de sus procesos académicos, la investigación y la formación de los estudiantes en sus programas de pregrado y posgrado.

TABLA IV
PORCENTAJES DE RESPUESTA DEL ÁREA CLAVE PERSONAS

NIVEL DE MADUREZ	% DE TA Y DA	% DE TD Y D	% DE NS/NR
Nivel 2 Conciencia	89%	8%	3%
Nivel 3 Definido	45%	30%	25%
Nivel 4 Gestionado	35%	35%	30%
Nivel 5 Optimizado	46%	31%	23%

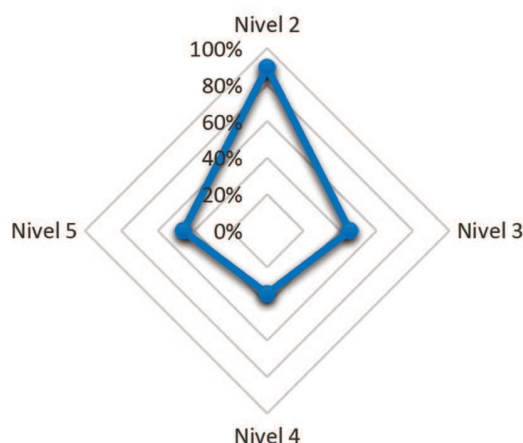


Fig. 1 Nivel de madurez del área clave personas

En cuanto al área clave procesos, en la tabla 5 se presentan los porcentajes obtenidos en cada una de las opciones de respuesta y en la Fig. 2, el nivel de madurez de esta área clave. A partir de los resultados que se presentan en la tabla y la figura es posible indicar que el nivel de madurez de GC del área clave procesos es 3 (definido); en este sentido, se infiere que en la ECBTI se han formalizado los procesos

para la gestión de contenidos, al igual que el proceso para la recolección e intercambio de información.

TABLA V
PORCENTAJES DE RESPUESTA DEL ÁREA CLAVE PROCESOS

NIVEL DE MADUREZ	% DE TA Y DA	% DE TD Y D	% DE NS/NR
Nivel 2 Conciencia	64%	23%	12%
Nivel 3 Definido	69%	15%	15%
Nivel 4 Gestionado	39%	29%	31%
Nivel 5 Optimizado	64%	12%	24%

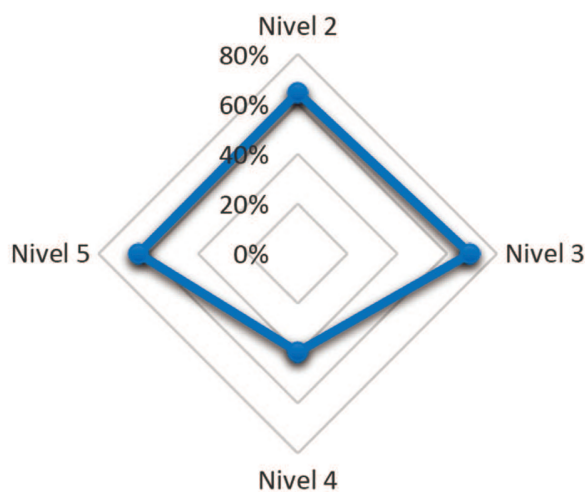


Fig. 2 Nivel de madurez del área clave procesos

Con respecto al área clave tecnología, los porcentajes de respuesta se presentan en la tabla 6 y el nivel de madurez en la Fig. 3. De acuerdo con dicha información, el nivel de madurez del área clave tecnología es mucho más cercano al 5 (optimizado), teniendo en cuenta que este nivel obtuvo el mayor porcentaje de respuestas positivas (59%). Esto significa que la infraestructura que se emplea para la GC en la ECBTI es mejorada de manera continua.

TABLA VI
PORCENTAJES DE RESPUESTA DEL ÁREA CLAVE TECNOLOGÍA

NIVEL DE MADUREZ	% DE TA Y DA	% DE TD Y D	% DE NS/NR
Nivel 2 Conciencia	58%	11%	31%
Nivel 3 Definido	36%	44%	19%
Nivel 4 Gestionado	54%	19%	27%
Nivel 5 Optimizado	59%	18%	23%

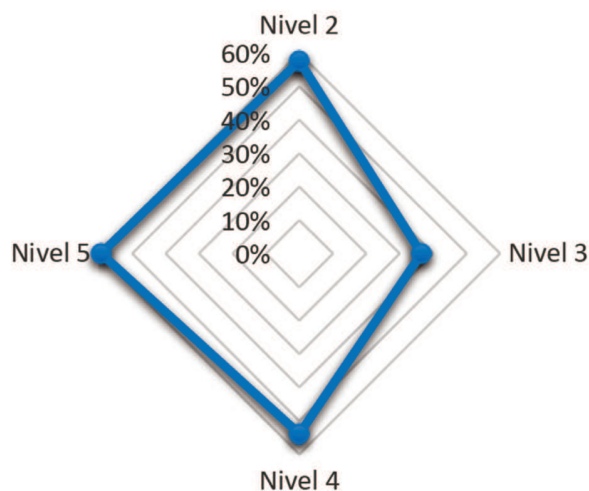


Fig. 3 Nivel de madurez del área clave tecnología

Para el área clave estrategia, en la tabla 7 y en la Fig. 4 se presentan los porcentajes de respuesta y el nivel de madurez, respectivamente. Tomando como referencia dicha figura, es posible establecer que el nivel de madurez de GC del área clave estrategia es 5 (optimizado). En esta medida, la GC se ha convertido en un proceso estratégico para la ECBTI, clave para los procesos tanto de gestión académica como de formación. Adicionalmente, se puede inferir que los líderes académicos de esta Escuela tienen convencimiento sobre la GC y su impacto sobre el futuro.

TABLA VII
PORCENTAJES DE RESPUESTA DEL ÁREA CLAVE ESTRATEGIA

NIVEL DE MADUREZ	% DE TA Y DA	% DE TD Y D	% DE NS/NR
Nivel 2 Conciencia	48%	18%	34%
Nivel 3 Definido	38%	19%	44%
Nivel 4 Gestionado	43%	17%	39%
Nivel 5 Optimizado	57%	17%	26%

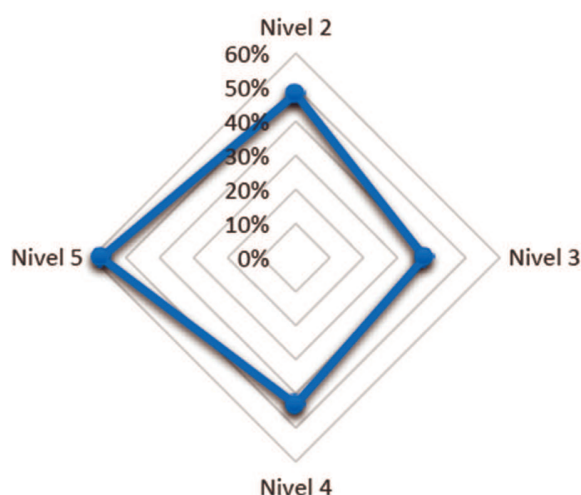


Fig. 4 Nivel de madurez del área clave estrategia

Una vez identificados los niveles de madurez de GC para cada una de las áreas clave, se procedió a establecer el nivel global de la ECBTI. Para este propósito se asignó una ponderación a cada área clave. Dicha ponderación se presenta en la tabla 8.

TABLA VIII
PONDERACIÓN DE LOS NIVELES OBTENIDOS EN CADA ÁREA CLAVE

ÁREA CLAVE	PONDERACIÓN	NIVELES DE MADUREZ	RESULTADO PONDERACIÓN
Personas	25%	2	0,5
Procesos	25%	3	0,75
Tecnología	25%	5	1,25
Estrategia	25%	5	1,25
Nivel de madurez global			3,75

Una vez aplicada la ponderación, se encontró que el nivel de madurez de GC global de la ECBTI es mucho más cercano al 4 (gestionado), lo que significa que las iniciativas de GC están plenamente establecidas en esta Escuela de la UNAD.

Si bien el nivel de madurez de GC global de la ECBTI fue de 4 (gestionado), fueron las áreas clave de tecnología y estrategia las que obtuvieron los mejores resultados, ya que presentaron el máximo nivel de madurez (optimizado). No obstante, las áreas clave de personas y procesos no presentaron resultados tan favorables, ya que obtuvieron niveles de madurez de 2 (conciencia) y 3 (definido), respectivamente.

En el caso del **área clave de personas**, aunque la ECBTI es consciente de la necesidad de la GC tanto en los procesos de gestión académica como de formación, requiere implementar programas de formación sobre GC e iniciar sistemas de incentivos para que dicha gestión sea desarrollada de manera efectiva por todos los colaboradores de esta Escuela, en aras de alcanzar el siguiente nivel de madurez que es 3 (definido). Posteriormente, para lograr el nivel de madurez 5 (optimizado) en esta área clave, se requiere normalizar la GC y la cultura de compartir en todos los centros de la Unad donde esta Escuela hace presencia.

En materia del **área clave de procesos**, la ECBTI tiene formalizado el proceso para la gestión de contenidos, al igual que el proceso para la recolección

e intercambio de información. Sin embargo, para alcanzar el nivel de madurez 4 (gestionado) en esta área clave, es necesario empezar a realizar mediciones de orden cuantitativo de dichos procesos. Para lograr el máximo nivel de madurez en esta área clave (optimizado), es necesario revisar y mejorar permanentemente los procesos de GC, que dichos procesos puedan ser adaptados para satisfacer las nuevas necesidades del servicio educativo y que los procedimientos de GC formen parte integral de la ECBTI.

El nivel de madurez de GC “5 – optimizado” (máximo nivel de madurez de GC que establece el modelo) del área clave de tecnología, significa que la infraestructura tecnológica que emplea la ECBTI para gestionar el conocimiento funciona plenamente, se mejora continuamente y existe una integración de la tecnología con la arquitectura de contenidos. Este nivel identificado se soporta con la robusta infraestructura tecnológica que tiene la Unad para el desarrollo de todos los procesos académicos y administrativos de la Universidad y que se somete a procesos de mejora continua; existe una dependencia que se encarga del proceso de gestión de servicios de infraestructura tecnológica denominada Gerencia de Innovación y Desarrollo Tecnológico (GIDT), la cual evalúa las condiciones técnicas de los recursos tecnológicos de la Universidad, realiza su mantenimiento y actualización de manera preventiva y correctiva y evalúa y propone la incorporación planificada de nuevas y mejores tecnologías.

Con respecto al nivel de madurez de GC “5 – optimizado” del **área clave estrategia**, significa que la GC es un proceso estratégico, clave para todos los procesos, apalancando la innovación y la estrategia. Esto se sustenta desde la misión de la ECBTI, ya que se centra en la formación a distancia, mediante estrategias educativas que incluyen el uso de las TIC para formar profesionales integrales, capaces de responder a las necesidades del entorno local, regional e internacional, por medio de la investigación y el desarrollo (I&D) como factor de desarrollo productivo y social en las comunidades donde impacta. En este orden de ideas, es posible inferir que la ECBTI tiene como eje fundamental la Gestión del Conocimiento, teniendo en

cuenta que el propósito de esta en las Instituciones de la Educación Superior consiste en crear, adquirir, procesar, conservar, transmitir y transferir el conocimiento, mediante la articulación de la docencia, la investigación y la extensión con el fin de formar profesionales que posean el conocimiento para atender las necesidades sociales, científicas y técnicas de la sociedad.

El nivel de madurez de GC global “4 – gestionado” identificado en la ECBTI bajo la luz del modelo empleado, significa en términos generales que esta unidad académica misional de la Unad tiene plenamente establecidas las iniciativas para gestionar el conocimiento. No obstante, es necesario que la GC logre estar integrada a lo largo de todos los centros de la Unad donde la ECBTI hace presencia y sea sometida a procesos de mejoramiento continuo para poder alcanzar el máximo nivel de madurez de GC “5 – optimizado”.

En consecuencia, el diagnóstico de madurez de GC desarrollado en la Escuela de Ciencias Básicas de Tecnología e Ingeniería, se constituye como el primer paso para mejorar sustantivamente los procesos de GC que se llevan a cabo en la misma; el presente diagnóstico se debe concebir como punto de partida para proponer iniciativas y metas dentro de la ECBTI que permitan generar una cultura efectiva de compartir el conocimiento dentro de toda la comunidad académica y que contribuyan a optimizar los procedimientos que se tienen para gestionar el conocimiento.

Es importante resaltar que el modelo empleado para medir la madurez de Gestión del Conocimiento “G-KMMM” permitió cumplir el objetivo principal de este trabajo de investigación aplicada. Gracias a este modelo, fue posible realizar de manera exitosa la medición de madurez de GC por cada área clave, para posteriormente establecer el nivel de madurez de GC global en la ECBTI. De igual forma, el área clave **estrategia** implementada para complementar el modelo, se podría concebir como un aporte significativo en lo que a modelos de madurez de GC se refiere, ya que mediante esta es posible identificar la articulación que existe entre la Gestión del Conocimiento y los focos estratégicos de la organización. En el caso

de la ECBTI, dicha articulación conllevó a establecer que la GC es un proceso estratégico clave para los procesos tanto académicos como administrativos que emprende esta unidad misional de la Unad.

En este sentido, es posible concluir que el Modelo general de madurez de GC (G-KMMMM) [1] es muy apropiado para emplearse en Instituciones de Educación Superior de gran complejidad (como lo es el caso de la Unad), ya que efectivamente propone una metodología muy detallada en su aplicación y análisis y un instrumento de medición (KMAT) de fácil comprensión para todos los colaboradores de cualquier tipo de organización.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente artículo se ha presentado una revisión sistemática sobre los modelos de madurez de Gestión del Conocimiento, a partir de la cual fue posible seleccionar y adaptar el mejor para medir la madurez de GC en la ECBTI, de la UNAD. El modelo elegido fue el *General Knowledge Management Maturity Model* (G-KMMM) [1], el cual se adaptó, adicionando un área clave: estrategia.

Se aplicó el instrumento ajustado a 307 de los 570 docentes y funcionarios de la ECBTI, logrando identificar el nivel de madurez de GC tanto global como por áreas clave de esta Escuela de la UNAD y los resultados fueron analizados siguiendo a [18], [20] y [7].

La información recopilada se analizó, encontrando que las áreas clave de personas y procesos no presentaron resultados muy favorables, ya que obtuvieron niveles de madurez de 2 (conciencia) y 3 (definido), respectivamente. En otras palabras, la ECBTI de la Unad es consciente de la necesidad de la GC para el desarrollo de sus procesos académicos, la investigación y la formación de los estudiantes en sus programas de pregrado y posgrado; así mismo, se han formalizado los procesos para la gestión de contenidos, al igual que el proceso para la recolección e intercambio de información.

Por su parte, las áreas clave de tecnología y estrategia obtuvieron los mejores resultados, alcanzando el nivel 5 (optimizado) en ambos casos. Esto quiere decir que la infraestructura que se emplea para la GC en la ECBTI se mejora de manera continua y que sus líderes académicos están convencidos de la GC y de su impacto sobre el futuro.

Todo lo anterior, permitió establecer que el nivel de madurez de GC global de la ECBTI fue de 4 (gestionado). Aunque se requiere trabajo, especialmente en las áreas de personas y procesos, las iniciativas de GC están plenamente establecidas en esta Escuela de la Unad.

Los hallazgos permitieron establecer algunas recomendaciones, las cuales se enuncian a continuación:

- Se requiere implementar programas de formación sobre GC.
- Es necesario proponer sistemas de incentivos para que todos los colaboradores de la Escuela desarrollen de manera efectiva la GC.
- Se requieren medios y canales de comunicación eficaces que propendan por facilitar y compartir el conocimiento que se crea al interior de la Escuela en los diferentes puntos del territorio.
- Se requiere implementar mediciones cuantitativas asociadas a los procesos de GC.

Asimismo, para alcanzar con el tiempo el nivel 5 (optimizado) en las áreas clave de personas y procesos, es necesario emprender las siguientes acciones en la ECBTI:

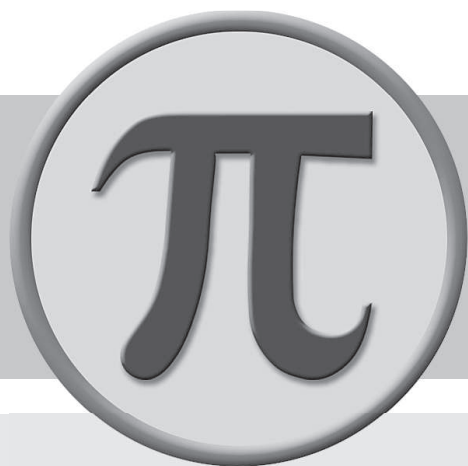
- Normalizar la GC y la cultura de compartir en todos los centros de la Unad donde esta Escuela hace presencia.
- Revisar y mejorar permanentemente los procesos de GC.
- Lograr la adaptabilidad de los procesos para satisfacer las nuevas necesidades del servicio educativo.
- Conseguir que los procedimientos de GC formen parte integral de la ECBTI.

Con respecto a las limitaciones, cabe mencionar que la distribución tan dispersa de los docentes en todo el territorio nacional, dificultó el diligenciamiento del instrumento por parte de toda la población de la ECBTI. Si bien se emprendieron actividades concretas para lograr el diligenciamiento total del instrumento en esta Escuela, como por ejemplo, su envío desde la cuenta de correo electrónico oficial de la ECBTI y la gestión directa con los docentes por medio de los líderes de programa, líderes zonales y directores de los cursos virtuales, solo 307 profesionales diligenciaron la encuesta, lo que equivale al 54% del total de personas que la conforman.

Dentro de los futuros trabajos se encuentra la medición de la madurez de Gestión del Conocimiento en toda la Unad y un trabajo comparativo con otras instituciones de educación superior.

REFERENCIAS

- [1] H. Y. Teah, L. G. Pee and A. Kankanhalli, "Development and application of a general knowledge management maturity model," *Tenth Pacific Asia Conf. Inf. Syst. (PACIS 2006)*, no. 12, 2006, pp. 401–416.
- [2] UNAD, "Estatuto Organizacional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)," Bogotá D.C., 2012.
- [3] UNAD, "Reglamento Estudiantil de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia," Bogotá D.C., 2013.
- [4] UNAD, "Sistema Integrado de Gestión (SIG) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia," 2014. [Online]. Available: <http://sig.unad.edu.co/>.
- [5] UNAD, "Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia," 2012. [Online]. Available: <http://estudios.unad.edu.co/ecbti>.
- [6] M. Gómez-Zermeño y L. Alemán, *Administración de proyectos de capacitación basados en tecnología*. Monterrey, México: Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey, 2012.
- [7] J. Arias-Pérez, J. Tavera-Mesías y D. Castaño-Serna, "Construcción de un modelo de madurez de gestión del conocimiento para una multinacional de alimentos de una economía emergente," *El Prof. la Inf.*, vol. 25, no. 1, 2016, pp. 88–102.
- [8] D. Rodríguez, "Modelos para la creación y gestión del conocimiento: una aproximación teórica," *Educación*, vol. 37, 2006, pp. 25–39.
- [9] E. Serna, "Maturity model of knowledge management in the interpretivist perspective," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 32, no. 4, 2012, pp. 365–371.
- [10] R. Escobar, C. Montenegro, W. Joven y J. López, "Modelos de Gestión del Conocimiento que integren tecnologías e-learning en la Educación Superior," *Redes Ing.*, vol. 4, 2013, pp. 103–113.
- [11] E. Bustos, M. Trinidad, and M. García, "Modelo de gestión de conocimiento para el desarrollo de posgrado: estudio de caso," *Rev. Electrónica Investig. Educ.*, vol. 18, no. 128–139, 2016.
- [12] A. Pérez, L. Ruiz, C. Varela, F. Grosso, C. Camós, A. Trottni, M. de Lujan, and S. Darin, *Gestión del conocimiento. Un nuevo enfoque aplicable a las organizaciones y a la universidad*, 1ra ed. Buenos Aires: Norma, 2005.
- [13] M. Lopera y N. Quiroz, "Caracterización de un modelo de gestión del conocimiento aplicable a las funciones universitarias de investigación y extensión: Caso universidad Ces," Universidad del Rosario, 2013.
- [14] R. Abdullah, M. Selamat, S. Sahibudin and R. Alias, "A framework for knowledge management system implementation in collaborative environment for higher learning institution," *J. Knowl. Manag. Pract.*, vol. 6, no. 1, 2005.
- [15] A. Kok, "Intellectual capital management as part of knowledge management initiatives at institutions of higher learning," *Electron. J. Knowl. Manag.*, vol. 5, no. 2, 2007, pp. 181–192.
- [16] Y. Yeh, "The Implementation of knowledge management system In Taiwan's higher education," *J. Coll. Teach. Learn.*, vol. 2, no. 9, 2011, pp. 35–42.
- [17] J. Flores, "La gestión del conocimiento y las herramientas colaborativas: una alternativa de aplicación en Instituciones de educación superior," *Rev. Invest. (Guadalajara)*, vol. 34, no. 71, 2010, pp. 11–32.
- [18] B. Demchig, "Knowledge Management Capability Level Assessment of the Higher Education Institutions: Case Study from Mongolia," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 174, 2015, pp. 3633–3640.
- [19] G. Klimko, "Knowledge management and maturity models: Building common understanding," in *Second European Conference on Knowledge Management: Bled School of Management*, Academic Conferences Limited, Ed. Bled, Slovenia, 2001, pp. 269–278.
- [20] C. Durango, M. Quintero y C. Ruiz, "Metodología para evaluar la madurez de la gestión del conocimiento en algunas grandes empresas colombianas," *Tecnura*, vol. 19, no. 43, 2013, pp. 20–36.
- [21] C. Durango, "Evaluación de las Tecnologías para la Gestión del Conocimiento," *Rev. Dimens. Empres.*, vol. 13, no. 2, 2015, pp. 205–217.
- [22] L. Pee and A. Kankanhalli, "A Model of Organisational Knowledge Management Maturity Based on People, Process, and Technology," *J. Inf. Knowl. Manag.*, vol. 08, no. 02, 2009, pp. 79–99.
- [23] Universidad Nacional del Nordeste, "Tamaño de una muestra," *Departamento de Sistemas Informáticos Integrales de la Facultad de Medicina*, 2016. [Online]. Available: <http://med.unne.edu.ar/biblioteca/calculos/calculadora.htm>.



INSTRUCCIONES PARA PRESENTAR ARTÍCULOS

Primer autor, Segundo Autor, Tercer Autor

Universidad o entidad de afiliación, Departamento o Escuela, Ciudad, País, correo



I. INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La Revista Especializada en Ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, tiene una periodicidad de publicación anual (enero-diciembre); publica artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las diferentes áreas de la ingeniería.

La Revista tiene como objetivo facilitar la divulgación del conocimiento científico y aplicado en temas de ingeniería; así como incentivar la visibilidad e impacto de la investigación desarrollada en el ámbito nacional e internacional en las áreas de la ingeniería de: *Sistemas, Electrónica, Redes, Química, Industrial, Audio, Biomateriales y Alimentos* entre otras, manteniendo como propósito la construcción de redes de conocimiento.

Para efectos de publicación, se reciben las siguientes clases de documento:

1) Artículos resultados de avance parcial o final de proyectos de investigación en el área de la ingeniería o, en el desarrollo de herramientas pedagógicas para la enseñanza de la ingeniería.

2) Artículos de reflexión, documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor sobre un tema específico.

3) Estados del arte o artículos de revisión, definido por Colciencias como aquél escrito que sistematiza y analiza los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo del conocimiento.

Los autores deben tener en cuenta las siguientes indicaciones al someter sus artículos:

1) Todo artículo postulado para publicación debe ser original o inédito.

2) El artículo sometido a la Revista Especializada en Ingeniería no debe estar postulado para publicación simultáneamente en otras revistas.

3) Se debe entregar carta firmada por los autores donde conste la originalidad del artículo.

4) Se debe entregar carta firmada por los autores donde conste la originalidad y la respectiva cesión de derechos.

II. NORMAS GENERALES

Los autores deben tener en cuenta las siguientes indicaciones al someter sus artículos:

1) Todo artículo postulado para publicación debe ser original o inédito.

2) El artículo sometido a la Revista Especializada en Ingeniería no debe estar postulado para publicación simultáneamente en otras revistas.

3) Se entregará una carta de exigencia de originalidad la cual debe ser firmada por los autores

III. PROCESO DE ARBITRAJE

La Revista **especializada en ingeniería “Publicaciones e Investigación”** realiza un proceso de revisión, dictamen o arbitraje de los artículos postulados para publicación teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- Todo original será sometido al proceso de dictamen, bajo la modalidad de pares doble ciego.
- El proceso de evaluación de los artículos consiste en una valoración preliminar por el Comité Editorial de la Revista, con el fin de calificar el documento previamente, en cuanto a forma, contenido y cumplimiento de normas de publicación.
- Posterior a esto se enviará el artículo a dos pares ciegos especialistas en el área del artículo. Una vez evaluado y aprobado el documento, se remitirá a los autores para que se realicen las correcciones o aclaren aspectos surgidos del proceso de evaluación.
- El documento debe ser devuelto con los cambios, para continuar con el proceso de corrección de estilo y posterior edición.
- En el eventual caso de amplias discrepancias en los resultados de la evaluación, el Comité Editorial tomará la decisión final de aceptación o rechazo del mismo. La aceptación definitiva dependerá de las modificaciones que los pares evaluadores propongan al autor y el concepto del Comité Editorial.
- El Comité Editorial de la Revista Publicaciones e Investigación se reserva el derecho de introducir modificaciones formales, necesarias para adaptar el texto a las normas de publicación. De no ser aprobado el artículo en la evaluación preliminar o en la evaluación por pares ciegos, se comunicará a los autores la decisión y los motivos de rechazo de la comunicación.

IV. PROCESO DE POSTULACIÓN DEL ARTÍCULO

El envío de su artículo se efectuará por correo electrónico a la dirección: publ.investig@unad.edu.co, con la sesión de derechos y la hoja de vida de los autores en los formatos establecidos para tal fin.

Los artículos producto de investigación no deben exceder de 12 páginas y los review de máximo 20

páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas establecidas.

V. CONTENIDO DEL DOCUMENTO

El artículo contiene unos aspectos formales para su presentación relacionados a continuación:

A. Título

El título principal del artículo debe estar en español e inglés; Fuente Times New Roman tamaño 14.

B. Detalles del Autor(es)

El nombre del autor o Autores debe estar escrito de acuerdo a la forma de citación: centrado, fuente tamaño 11 puntos y negrilla.

C. Filiación del Autor(es)

La Universidad o entidad de afiliación, Escuela, Ciudad y País en fuente tamaño 10 puntos y cursiva, los correos en tamaño 9 puntos en fuente tipo Courier; Entidad que financia el proyecto (de existir).

D. Resumen

El resumen se debe presentar en español e inglés: que no exceda 250 palabras y que describa sistemáticamente el contenido del artículo.

E. Palabras clave

Las palabras clave deben estar en español e inglés, negrilla y cursiva, máximo diez palabras clave que den una idea de los temas fundamentales que se encuentran en el artículo. Estas palabras deben ir ordenadas alfabéticamente separadas por comas. Para estandarizar las palabras clave se sugiere buscarla en el siguiente hipervínculo, https://www.ieee.org/documents/taxonomy_v101.pdf

F. Figuras y tablas

Las figuras y tablas deben estar centradas en la columna. Si la figura es muy larga, se puede extender hasta ocupar el espacio de las dos columnas. Cualquier figura o tabla que se extienda más de una

columna, pero no ocupe el espacio de las dos columnas debe estar centrada

Los gráficos deben estar en color, de preferencia utilice colores estándar (rojo, azul, verde, amarillo) de manera que puedan ser reproducidos en cualquier sistema, las fotografías deben estar en **jpg, tif, eps psd, png.**)

Toda figura debe acompañarse de un título en letra de tamaño de 9 puntos, que inicia con la abreviatura "Fig." para indicar "Figura" y un número de secuencia.

El nombre de la figura se utiliza centrado en la columna, o página si la figura se extiende fuera de la columna. Si la descripción se extiende más de una línea, se debe mostrar de forma justificada, como en Fig. 1.



Fig. 1 El ejemplo de un gráfico con colores sólidos que resaltan sobre el fondo blanco.

G. Tablas

El título y contenido de las tablas en tamaño 9 puntos.

TABLA I
TAMAÑO Y FUENTES PARA ARTÍCULOS

Tamaño	Fuente (Times new Roman)		
	Regular	Negrita	Cursiva
18	TÍTULO DEL ARTICULO	negrita	
11	Nombre del autor	negrita	
10	Filiación de los autores		cursiva
9	Correo electrónico (fuente Courier)		
11	Contenido	(Times new Roman)	
11	TITULOS	negrita	
11	Subtitulos	negrita	cursiva
11	Resumen	Cuerpo del Resumen	
11	Abstrac	<i>Cuerpo del abstrac cursiva</i>	cursiva
9	Título de figuras	Negrita solo Fig. No	
9	Título y contenido de tablas	mayúscula negrita	negrita

H. Aspectos formales y estructura del artículo

I. INTRODUCCIÓN

En esta sección se incluye una presentación general del tema, lo que el experimento o estudio intenta demostrar; la hipótesis con relación al estado del arte, se debe presentar una visión general de los resultados obtenidos. Problema de investigación y método: planteamiento del problema de investigación y síntesis del enfoque metodológico. Técnicas y estrategias de recolección y análisis de la información (según el caso).

II. DESARROLLO DE CONTENIDO

En esta sección se desarrollan los contenidos del tema de manera de manera ordenada y secuencial con letras mayúsculas.

A. Subtítulos

En esta sección se describen temas detallados que forman parte del título principal.

B. Estilo del artículo

El artículo debe presentarse a dos columnas.

C. Viñetas

Si es necesario el uso de viñetas debe utilizarlas siguiendo las instrucciones:

- Cuando desea mencionar varias cosas dentro de un tema de un subtítulo
- Cuando necesite crear niveles en una sección utilice las siguientes normas:

1) Primer nivel: el primer nivel corresponde al del título; por tanto, debe estar centrado, numerado con números romanos y todas las letras en mayúscula.

2) Segundo nivel: un segundo nivel corresponde al subtítulo. Deben estar numerados usando letras

mayúsculas seguidas por un punto y alineados a la izquierda y en cursiva y negrita.

3) Tercer nivel: un tercer nivel es como este que está leyendo. Utilice letra cursiva y negrita, con números arábigos seguidos por un paréntesis. El cuerpo del ítem debe estar inmediatamente después del encabezado, sin saltos de línea.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados deben ser presentados objetivamente en forma de gráficos y/o tablas, de ser posible en forma comparativa, según sea el caso del tipo de artículo.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Lo primordial de esta sección es presentar los resultados principales, fundamentados en los objetivos y en la teoría; deben manejarse como enunciados cortos.

RECONOCIMIENTOS

En esta sección se colocan los agradecimientos a personas que colaboran en el desarrollo del proyecto pero que no figuran como autores. No debe ir numerado.

REFERENCIAS AL FINAL DEL TEXTO

Esta sección no debe tener numeración y todas las referencias se escriben en letra de 9 puntos. La lista de las obras citadas se incluye al final del artículo. Se debe referenciar en el texto el número de la respectiva referencia donde se hace alusión.

Deben presentarse en los formatos de la siguiente manera: el número de la referencia dentro de paréntesis cuadrado [1]. Seguir la guía de IEEE: <http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/information.htm>

Libros

[1] J. K. Author, "Title of chapter in the book," en *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, Country if not USA: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec.x, pp. xxx-xxx.

Ejemplo:

- [1] B. Klaus and P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986. [2] L. Stein, "Random patterns," en *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70. [3] R. L. Myer, "Parametric oscillators and nonlinear materials," en *Nonlinear Optics*, vol. 4, P. G. Harper and B. S. Wherret, Eds. San Francisco, CA: Academic, 1977, pp. 47-160. [4] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Eds., *Handbook of Mathematical Functions* (Applied Mathematics Series 55). Washington, DC: NBS, 1964, pp. 32-33.

Informes Técnicos

- [1] J. K. Author, "Title of report," Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, Rep. xxx, year.

Ejemplos:

- [1] E. E. Reber absorption in the earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (4230-46)-3, Nov. 1988. [2] J. H. Davis and J. R. Cogdell, "Calibration program for the 16-foot antenna," Elect. Eng. Res. Lab., Univ. Texas, Austin, Tech. Memo. NGL-006-69-3, Nov. 15, 1987. [3] R. E. Haskell and C. T. Case, "Transient signal propagation in lossless isotropic plasmas," USAF Cambridge Res. Labs., Cambridge, MA, Rep. ARCRL-66-234 (II), 1994, vol. 2.

Artículos de Conferencias Técnicas

- [1] J. K. Author, "Title of paper," en *Unabbreviated Name of Conf.*, City of Conf., Abbrev. State (if given), year, pp. xxx-xxx.

Nota: Si la conferencia se encuentra en un formato electrónico no hay números de página

- [1] J. K. Author [two authors: J. K. Author and A. N. Writer] [three or more authors: J. K. Author et al.], "Title of Article," in [Title of Conf. Record as it appears on the copyright page], [copyright year] © [IEEE or applicable copyright holder of the Conference Record]. doi: [DOI number].

Fuentes en Línea

- [1] J. K. Author. (year, month day). Title (edition) [Type of medium]. Available :[http://www.\(URL\)](http://www.(URL))

Ejemplo:

- [1] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>

Patentes, normas, tesis y documentos sin publicar

- [1] J. K. Author, "Title of patent," U.S. Patent x xxx xxx, Abbrev. Month, day, year.

Ejemplo:

- [1] J. P. Wilkinson, "Nonlinear resonant circuit devices," U.S. Patent 3 624 125, July 16, 1990.

Normas/ Estándares

- [1] *Title of Standard*, Standard number, date.

Ejemplos:

- [1] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969. [2] *Letter Symbols for Quantities*, ANSI Standard Y10.5-1968.

Tesis y disertaciones doctorales

- [1] J. K. Author, "Title of thesis," M.S. thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year. [2] J. K. Author, "Title of dissertation," Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.

Ejemplos:

- [1] J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993. [2] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical non equilibrium nozzle flow," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.

Documentos sin publicar

Existen dos tipos de referencias para documentos sin publicar

- [1] J. K. Author, private communication, Abbrev. Month, year. [2] J. K. Author, "Title of paper," unpublished.

Ejemplos:

- [1] A. Harrison, private communication, May 1995. [2] B. Smith, "An approach to graphs of linear forms," unpublished. [3] A. Brahms, "Representation error for real numbers in binary computer arithmetic," IEEE Computer Group Repository, Paper R-67-85.

Publicaciones periódicas

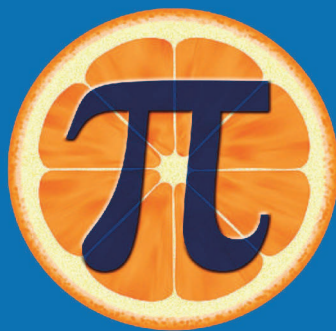
- [1] J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year.

LISTA DE AUTORES

LIST OF AUTHORS



	Pag
Adrián González	23
Ana Ilva Capera Urrego	95
César Pardo	129
Claudio Camilo González Clavijo	83
Cristian Camilo Cuevas Castañeda	145
Diana Paola Almario Guio	69
Francisco Sarmiento	23
Francisco J. Pino	49
Gelberth Amarillo	23
Hermes Mosquera Angulo	163
Jenny Paola Lis Gutiérrez	177
Jesús A. Torres Ortega	39
John Martínez	49
José Fernando López Quintero	83
José Luis Hoyos Concha	13
Judy Johanna Martínez Ramos	69
Juan A. Lizarazo Ariza	39
Libardo Pantoja	129
Liliana P. Lozano	117
Lizeth D. C Molina	117
López Ortiz Iván Arturo	163
Luis Gómez Orozco	95
Luis Montañez Carrillo	177
Milton Amarillo	23
Oscar D. Díaz Fonseca	39
Rodrigo Ortega-Toro	13
Víctor Leonardo López Jiménez	69
Yuri Vanessa Nieto Acevedo	83



**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
UNAD**

www.unad.edu.co

Sede Nacional José Celestino Mutis. calle 14 Sur No 14-23

PBX: 3443700 ext: 1422 - 1333

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion>

publicaciones.investigacion@unad.edu.co

Bogotá. D.C. Colombia